

TAGESGÄNGE DER TEMPERATUR AN BERGWIESEN UND IN WÄLDERN

von R. WAGNER

Herrn Prof. DR. RUDOLF GEIGER zu seinem 75. Geburtstag gewidmet

Summary: In the Bükk Mountains of Hungary, by using data from climatological stations installed at various sea-levels (i. e. 550 m, 700 m, 730 m, 780 m and 910 m) and by executing hourly or quarter-hourly measurements of air-temperature and soil-temperature on meadows and forests situated at sea-levels of 550 m, 730 m and 910 m, and grouping them according to three categories of nebulosity (0—2, 3—7, 8—10), the diurnal variations of temperature are established. It is found, that the air-space over meadows is, in day-time, warmer and in the night cooler than that of the forests. Soil temperatures are on the meadows by night and by day warmer than soil temperatures in the forest. Maximum temperatures both of the air of the meadows and of forests are decreasing with altitude, while the minima are increasing. Maxima and minima of soil temperatures are decreasing with height. The diurnal amplitudes of both air and soil temperatures are decreasing with altitude, however, there exists also a decrease in the difference between the temperatures of meadows and of forests.

Zusammenfassung: Im Bükkgebirge von Ungarn, auf Grund von in verschiedenen Seehöhen (550 m, 700 m, 730 m, 780 m, 910 m) aufgestellten klimatologischen Stationen und auf Grund der stündlichen, bzw. viertelstündlichen Beobachtungen der Luft- und Bodentemperaturen der Wiesen und Wälder in den Höhenlagen von 550 m, 730 m und 910 m, wurden nach Bewölkungskategorien (0—2, 3—7, 8—10) die Tagesgänge der Temperatur festgestellt. Es wurde gefunden, dass der Luftraum der Wiesen bei Tage wärmer und bei Nacht kälter ist als der Luftraum des Waldes. Die Bodentemperatur der Wiesen ist bei Tage und bei Nacht höher als die Temperatur des Waldbodens. Die Maxima der Lufttemperatur weisen sowohl an den Wiesen als auch in den Wäldern mit zunehmender Seehöhe eine Abnahme auf, hingegen hat man bei den Minima eine Zunahme. Die Maxima und Minima der Bodentemperaturen nehmen mit der Seehöhe ab. Die Tagesamplituden der Boden- und Lufttemperatur erfahren bei zunehmender Seehöhe eine Abnahme, doch findet man auch eine Abnahme der Temperaturunterschiede zwischen Wiese und Wald.

Einleitung

Die Mikroklimaten, welche sich in gebirgigen Lagen ausbilden, sind im Gegensatz zu dem Tieflande weitgehend von der Orographie, von den morphologischen Formen des Geländes und von der Seehöhe abhängig. Mit der Seehöhe und den Expositionsverhältnissen ändern sich auch die dem Grundgestein entsprechenden Bodeneigenschaften. Weiter werden die Temperaturverhältnisse des Bodens und der bodennahen Luftschicht sehr kräftig durch die Pflanzendecke beeinflusst. In verschiedenen Höhenlagen sind auch bei gleichem Grundgestein die Bodenarten und Phytocönosen keineswegs identisch.

Die mikroklimatologischen Probleme der gebirgigen Lagen wurden durch das Werk R. GEIGER's (1961) klargelegt und es erübrigt sich, dass wir uns mit dieser Frage hier beschäftigen. Doch möchten wir auf die Studien R. GEIGER's „Messung des Expositionsclimas“ (1927, 1928, 1929) hinweisen, in welchen die Resultate der bereits schon im Jahre 1926 durchgeführten Forschungsarbeiten zusammengefasst wurden; ausserdem möchten wir an die Arbeiten von F. K. HARTMANN, J. VAN EIMERN und G. JAHN (1959) über ihre am Grossen Staufenberg durchgeführten Forschungen und auf die Arbeit von R. GEIGER, M. WOELFE und L. P. SEIP (1933, 1934) über ihre Forschungen, welche am Grossen Arber im Bayrischen Walde durchgeführt werden, hinweisen.

Am WSW-Abhange des Grossen Falkensteins zwischen den Höhenlagen 622 und 1307 m durchgeführte Forschungen führten zu wesentlichen Ergebnissen (R. GEIGER 1956, A. BAUMGARTNER und G. HOFMANN, 1957).

Die mikrometeorologischen Probleme des Hochgebirges wurden durch R. GEIGER (1953) zusammengefasst. Von Bedeutung sind die Untersuchungen, die von H. AULITZKY (1961, 1962, 1968) und von H. TURNER (1958) in den Alpen ausgeführt wurden.

Stationsnetz

Die durch uns ausgeführten Forschungsarbeiten stimmen mit den obigen Forschungen nur in Bezug auf die geographische Breite überein, denn die Höhenunterschiede sind in bedauernswerter Weise nicht einmal im Mittelgebirge die selben.

Im B ü k k - G e b i r g e wurden in mehreren Höhenlagen klimatologische und mikroklimatologische Beobachtungsstationen errichtet. Die eine Beobachtungsstation wurde am R e j t e k (550 m NN) in einem mit seiner Achse nach Süden gerichteten Nebentale, an einer nahezu ebenen Gebirgswiese errichtet, eine zweite Station wurde am H á r m a s k ú t (Dreierbrunnen) bei einer Erholungsstelle an der zum sog. N a g y - I s t v á n - E r ő s e Bergspitze führenden Weges, die durch eine Bergwiese bedeckt ist, ebenfalls auf nahezu horizontalem Gelände aufgestellt. Die beiden Beobachtungsstellen können nicht so betrachtet werden, als ob dieselben zwei verschiedene Punkte eines und derselben Berghanges bilden würden, da das B ü k k - G e b i r g e aus abgeordneten Massiven besteht, und im mittleren Teile desselben befindet sich die B ü k k - H o c h e b e n e, welche reich an Dolinen und karstigen Formationen ist (mittlere Seehöhe 780 m NN). In R e j t e k und am H á r m a s k ú t befindet sich ein junger Buchenbestand (Alter: 10 Jahre). Eine dritte Station wurde an der Gebirgswiese des K u r t a b é r c (Seehöhe 730 m) errichtet, welche auf der südlichen Seite von einem Fichtenbestand abgegrenzt wird (Alter: 50 Jahre).

Wir haben in erster Reihe die Absicht, durch unsere Untersuchungen festzustellen, welche Unterschiede in den Temperaturverhältnissen des bodennahen Raumes und des Bodens zwischen den verschiedenen Höhenlagen bestehen auf den Bergwiesen, somit auf offenem Gelände, und in dem Walde.

An den angeführten Stellen, und ausserdem auf dem N a g y m e z ő auf der B ü k k - H o c h e b e n e (780 m NN) und in einem nördlichen Tale des Gebirges (S z á r a z - v ő l g y in 700 m NN) wurde je eine klimatologische Station errichtet.

Die Beobachtungen wurden fortlaufend stündlich bzw. in allen 15 Minuten in der

Tabelle I.

Klimatische Daten

Beobachtungsperiode	31. VII—20. VIII. 1964.						31. VII—20. VIII. 1967.		
	Miskolc (130 m)	Rejte k (550 m)	Kurtabérc (730 m)	Nagy-mező (780 m)	Hármaskút (910 m)	Száraz-völgy (700 m)	Miskolc (130 m)	Kurtabérc (730 m)	Száraz-völgy (700 m)
Abs. max. °C	30,8	26,6	25,4	26,0	24,1	25,6	33,4	27,4	27,5
Abs. min. °C	8,1	3,4	5,0	2,4	4,0	3,3	12,0	5,8	7,5
Max-min. °C	22,7	23,2	20,4	23,6	20,1	22,3	21,4	21,6	20,0
Mittleres max. °C	25,9	21,8	20,7	20,4	21,4	—	29,0	23,0	23,4
Mittleres min. °C	12,5	8,4	9,8	8,0	8,9	—	14,8	11,0	11,2
Mittleres max—min. °C	13,4	13,4	10,9	12,4	12,5	—	14,2	12,0	12,2
Temperaturmittel (von 21 Tagen)	19,6	16,6	15,7	15,1	15,4	14,9	21,9	17,5	17,3
Wahre Mitteltemperatur (21 Tagen)	—	16,0	15,1	14,4	—	14,6	—	17,0	16,7
Dampfdruck (mm)	11,3	10,3	10,1	—	9,9	—	12,5	10,7	—
Luftfeuchtigkeit (%)	69	73	76	75	76	—	66	79	78
Zahl der Niederschlags- tage	6	8	7	5	9	4	5	6	—
Niederschlagsmenge (mm)	49,4	66,0	59,0	77,0	59,0	30,9	12,6	47,8	27,8

Zeit vom 31. Juli bis 20. August 1964 durchgeführt. In dieser Weise erhielten wir eine Beobachtungsreihe von 21 Tagen, für welche sich eine Bewölkung nach den Beobachtungen am Kurtabérc und in Rejte k von 46% und nach den Beobachtungen am Hármaskút eine Bewölkung von 44% ergab. Davon waren 5 Tage heiter (mit einer Bewölkung von 0—20%), namentlich die Tage 31. Juli, 5., 6., 7. und 8. August, 3 Tage stark bewölkt (Bewölkung 80—100%), namentlich der 10., 11. und 19. August, und die übrigen Tage wurden als wolkige Tage betrachtet.

Die Bildung der konvektiven Bewölkung kann auch aus dem Tagesgange der Himmelsbedeckung beobachtet werden. Im Durchschnitt besteht zwischen 10^h und 16^h eine Bewölkung von 50—60%, hingegen hat man in der Zeit zwischen 21^h und 04^h einen Wert, der geringer als 40% ist. Auch an heiteren Tagen waren in den Mittagsstunden Haufenwolken vorhanden, so gab es gänzlich heitere Tage überhaupt nicht.

Temperaturunterschiede zwischen den klimatologischen Stationen

Die Beobachtungen, welche an den klimatologischen Stationen ausgeführt wurden, werden in *Tabelle I.* zusammengefasst. Daraus geht hervor, dass der Zusammenhang mit der Seehöhe nur ein sehr geringfügiger ist, und die Wirkung der Faktoren, durch welche das Lokalklima bestimmt wird, viel kräftiger zur Geltung gelangt. Im Falle des absoluten Temperaturmaximums kann zwischen Rejte k und Hármaskút noch das Bestehen eines Temperaturgradienten von

0,7 °C/100 m

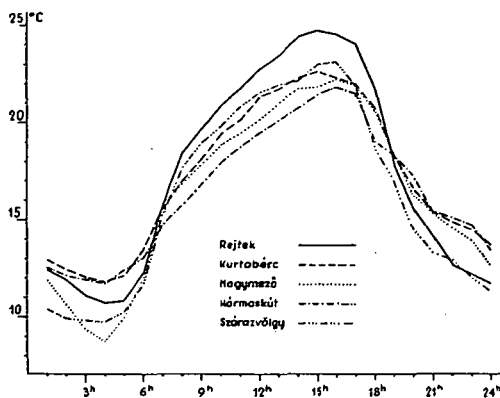


Abb. 1. Tagesgang der Lufttemperatur an heiteren Tagen

ermittelt werden, doch sind schon bei den mittleren Maxima und bei den mittleren Minima die Abweichungen ganz unwesentlich.

Auf Grund der Angaben der klimatologischen Station am Flughafen Miskolc ergibt sich für das absolute Maximum der Temperatur ein Gradient von

$$0,86^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$$

Die vertikalen Gradienten für das absolute Maximum betragen auf Grund des Vergleiches Miskolc - Rejtek

$$1,0^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$$

für Rejtek - Hármaskút:

$$0,69^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$$

und für Kurbaberc - Hármaskút

$$0,72^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$$

Im Bükk-Gebirge wurden auch im Jahre 1967 mehrere klimatologische Stationen errichtet und die Beobachtungen wurden in der selben Zeitperiode (31. Juli—20. August) ausgeführt, auch auf dem Kurbaberc. Werden die Angaben dieser Station mit den Angaben von Miskolc an den selben Tagen verglichen, so finden wir, dass der auf Grund des Temperaturmaximums errechnete Temperaturgradient im Jahre 1964 den Wert

$$0,9^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$$

im Jahre 1967 aber den Wert

$$1,0^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$$

besass. Als Mittelwert von 5 zu 5 heiteren Tagen aus den beiden Zeitperioden ergaben sich sowie für 1964 als auch für 1967

$$0,63^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$$

und, mit 21-tägigen Temperaturmittelwerten gerechnet, ergab sich für 1964

$$0,65^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$$

und für 1967

$$0,73^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$$

Aus diesen Angaben geht es hervor, dass der vertikale Temperaturgradient zur gleichen Jahreszeit, aber unter verschiedenen Wetterverhältnissen, eine überraschende Ähnlichkeit aufweist.

In der Arbeit von H. AULITZKY (1968) werden die Temperaturgradienten in Tabelle 10 zusammengefasst. Davon lauten die Angaben für August wie folgt:

Falkenstein	0,61
Alpengebiet	0,60
Obergurgl	0,92
Sonnblick	0,66

Unsere Beobachtungsperioden enthalten nicht die Monatsmittel für August, doch sind wir der Auffassung, dass unsere Angaben in einem guten Einklang zu dieser Angabenreihe stehen.

Die 21-tägigen Mittelwerte deuten auf eine Abnahme mit der Höhe, doch weisen die Angaben der von Bergen umgebenen Hochebene (sog. Nagymező) und die Angaben der in einem nördlich gerichteten Tale liegenden Szárazvölgy auf das Vorhandensein eines besonderen Lokalklimas hin.

Die Niederschlagsangaben sind infolge der verschiedenen Niederschlagsintensitäten an den drei Gewittertagen (9., 14. und 19. August) sehr abweichend von einander, nur die Angaben von Szárazvölgy erbringen den Beweis des Vorhandenseins eines Regenschattens. Etwa 80—85% der Gesamtniederschläge fielen zur Zeit der Gewitter.

Der Einfluss der Höhenlage auf die Temperaturverhältnisse geht schon aus den wahren und Termin-Mittelwerten der 5 heiteren Tage hervor (S. Tabelle II.).

Tabelle II.

*Temperaturwerte an heiteren Tagen in 2 m Höhe
(in der Wetterhütte gemessen).*

Stationen	Wahrer Mittelwert °C	Termin- Mittelwert °C
Rejte k (550 m)	18,1	17,3
Kurtabérc (730 m)	17,7	17,2
Nagymező (780 m)	17,6	16,3
Hármaskút (910 m)	16,9	16,5
Szárazvölgy (700 m)	16,9	16,9

Die bedeutende Abweichung, welche zwischen den wahren und den Termin-Mittelwerten besteht, erklärt sich aus der im Bükk-Gebirge an heiteren Tagen auftretenden schnellen Erwärmung am frühen Morgen sowie aus dem rapiden Temperatursturz, der nach der Abenddämmerung einsetzt. Eine Folge besteht darin, dass in Bükk-Gebirge, im Gegensatz zu den Verhältnissen, die auf der ungarischen Tiefebene beobachtet werden, morgens um 7^h höhere Temperaturen als nach Sonnenuntergang um 21^h gefunden wurden. Von den angeführten 5 klimatologischen Stationen ist die Temperatur allein an der Station Hármaskút um 21^h höher (15,4 °C) als um 7^h (14,7°). An allen übrigen Beobachtungsstellen wurde, wie dies auch aus Abb 1 ersichtlich ist, um 7^h eine höhere Temperatur beobachtet.

Hingegen erhält man auf Grund der wahren Temperaturmittelwerte zwischen Hármaskút und Rejte k einen Wert des Temperaturgradienten, der nur

0,33 °C/100 m

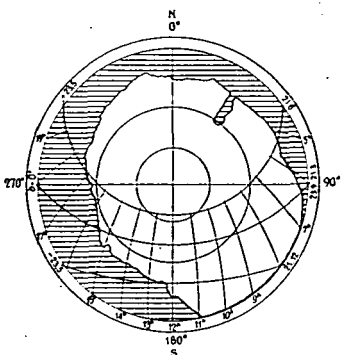


Abb. 2. Horizonteinschränkung durch Wälder und Berge in Rejtek. Sonnenbahnen für den 21. Juni, 21. März und 21. Dez.

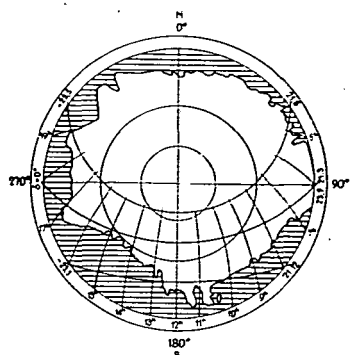


Abb. 3. Horizonteinschränkung durch Wälder und Berge am Kurtabérc

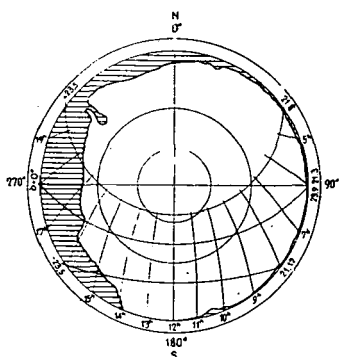


Abb. 4. Horizonteinschränkung durch Wälder und Berge am Nagymező

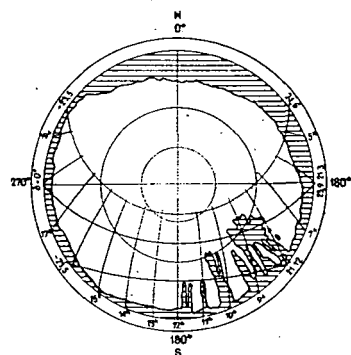


Abb. 5. Horizonteinschränkung durch Wälder und Berge in Hármaskút

beträgt, aber man errechnet aus den Stundenmittelwerten um 14^h einen Gradienten von

$$1,03 \text{ } ^\circ\text{C}/100 \text{ m}$$

und um 22^h und 23^h einen Wert von

$$-0,67 \text{ } ^\circ\text{C}/100 \text{ m}$$

Rejtek ist gegenüber von Nagymező um 2,9 Grad wärmer in den 15^h-Beobachtungen (dies entspricht einem Gradienten von

$$1,26 \text{ } ^\circ\text{C}/100 \text{ m}$$

und ist um 1,9 Grad kälter in den 22^h-Beobachtungen dies entspricht einem Gradienten von

$$0,83 \text{ } ^\circ\text{C}/100 \text{ m}$$

Zwischen Rejtek und Kurtabérc treten die extremsten Tempe-

raturabweichungen um 14^h und 22^h ein, mit einem Temperaturgradienten von
1,22 °C/100 m
bzw. von

—1,22 °C/100 m

Die gewaltigen Temperaturabweichungen, welche Nagymező und Kurtabérc gegenüber von Rejtekk aufweisen, werden durch die morphologischen Unterschiede der betreffenden Beobachtungsstellen erklärt.

Am ausgeglichensten verhält sich die Temperatur an den untersuchten Stationen um 19^h, zu diesem Zeitpunkt besteht in den Temperaturen (von Szárazvölgy abgesehen) nur ein Unterschied von 0,5 Graden. In der Stunde zwischen 18^h und 19^h ist der Temperaturunterschied zwischen den Stationen noch geringer.

Dort wo auch Bodentemperatur-Beobachtungen durchgeführt wurden, haben wir die Tagesextremwerte der Temperatur nach dem Bewölkungsgrade gruppiert. Im folgenden werden Mittelwerte für die obengenannten 5 heiteren und 3 bedeckten Tage dargestellt. Ausserdem wurden aus den wolkigen Tagen 7 Tage ausgewählt, die übrigen wurden ausser Acht gelassen, denn es ergaben sich, trotz der verhältnismässig geringen Entfernungen, bedeutende Abweichungen in den täglichen Mittelwerten der Bewölkung. So wechselte z. B. am 2. und 3. August die Bewölkung an den verschiedenen Beobachtungsstellen zwischen 47 und 70%, am 4. August zwischen 45 und 90%.

Die durchschnittlichen Werte der Maxima und der Minima der Lufttemperatur und die durchschnittlichen Werte der Amplitude werden in Tabelle III. dargestellt.

Tabelle III.

Durchschnittliche Maxima der Lufttemperatur (M), durchschnittliche Minima der Lufttemperatur (m) und Amplituden (ΔT) für verschiedene Bewölkungsstufen.

Stationen	Heiter			Wolkig			Bedeckt		
	M	m	ΔT	M	m	ΔT	M	m	ΔT
Rejtekk (550 m)	24,9	9,2	15,7	22,0	9,0	13,0	18,9	11,7	7,2
Kurtabérc (730 m)	23,2	10,3	12,9	20,4	8,1	12,3	18,0	11,7	6,3
Hármaskút (910 m)	22,5	11,5	11,0	19,7	10,4	9,3	17,1	11,6	5,5

Eine Tendenz ist ersichtlich, wonach die Maxima und die Amplituden mit der Höhe abnehmen. Betreffend dieser Tendenz findet man in dem Buche R. GEIGER's (1961) reichliche literarische Hinweise. H. AULITZKY (1961, 1962, 1968) und H. TURNER (1958) erhielten in höheren Lagen im Grossen und Ganzen auch ähnliche Resultate. Den Höhenverhältnissen des Bükk-Gebirges (aber nicht dem Charakter dieses Gebirges) entsprechen mehr die Untersuchungen von A. BAUMGARTNER und G. HOFFMAN (1957), welche an den Hängen des Grossen Falkensteins in Bayern durchgeführt wurden. Ebenfalls hier soll an die Beobachtungsergebnisse von J. JUSTYÁK (1964) hingewiesen werden, der am Südrande des Nagy-Kopasz-Berges im Weinbaugebiet Tokaj an elf Beobachtungsstellen Messungen ausführte.

Wir sind nicht in der Lage, das Vorhandensein einer warmen Hangzone nachzuweisen, einesteiis weil das Stationsnetz für solche Zwecke nicht dicht genug war, und andererseits, weil auch der Hang kein gleichmässiger ist. Wir hätten es erwarten können, dass die Minima der Lufttemperatur an den heiteren Tagen am geringsten sein werden, hingegen mussten wir feststellen, dass die Nächte nach den bewölkten Tagen die kühlsten sind.

Die Erklärung dieser Tatsache kann im Tagesgange der Bewölkung gesucht werden. Namentlich ist der Bewölkungsgrad bei Nacht geringer als bei Tage und nach der gemässigten Insolation bei Tage ist die nächtliche Ausstrahlung weniger behindert. Die Temperaturminima sind am geringsten am K u r t a b é r c, was mit der morphologischen Lage dieser Beobachtungsstelle in Zusammenhang steht. Doch kann dieser Umstand auch aus den absoluten und durchschnittlichen Werten der Minima am N a g y m e z ő belegt werden (S. Tabelle I.). Diese Erscheinung ist, wenn auch nicht identisch, doch wenigstens verwandt mit der Erscheinung, die bei H. G. KOCH (1961), Abb. 13, als „Temperatur- und Geländeprofil Russtiegelgrund bis Grosser Alsbachsberg bei Scheibe als Beispiel für die Abhängigkeit der Temperaturverteilung von dem Hangrelief“ angeführt wird. *Auch hier kann es belegt werden, dass die orographischen und morphologischen Formen eine wesentliche Modifizierung der aus der Höhenlage sich ergebenden Temperaturverhältnissen mit sich bringen können.*

Setzt man die Temperaturamplituden für heiteren Tagen gleich 100%, so hat man an den bedeckten Tagen Amplituden von 45,9% in R e j t e k, 48,8% am K u r t a b é r c und 50,0% in H á r m a s k ú t. Somit kann an bedeckten Tagen nur mit einer halb so grossen Temperaturamplitude gerechnet werden.

Setzt man den Durchschnittswert von heiteren Tagen in R e j t e k gleich 100%, so erhält man für K u r t a b é r c eine Amplitude von 82,2%, für H á r m a s k ú t eine Amplitude von 70,0%. Dies sind gleichzeitig die grössten Abweichungen zwischen den verschiedenen Höhenlagen. An bedeckten Tagen sind die Unterschiede geringer. Wird der Wert für R e j t e k wieder 100% gleichgesetzt, dann hat man für K u r t a b é r c 87,5% und für H á r m a s k ú t 76,4%. Die Abweichungen der Amplituden müssen aber noch als geringer angenommen werden, denn selbst an diesen regnerischen, bedeckten Tagen gab es einige Zehntelstunden Sonnenscheindauer.

Temperaturen des bodennahen Luftraumes an der Wiese

Die mikroklimatologischen Messungen, welche an den drei Beobachtungsstellen mittels Widerstandsthermometern ausgeführt wurden, bekräftigen noch weiter die Ergebnisse über die mit der Höhenlage in Zusammenhang stehenden Temperaturabweichungen. In Tabelle IV. werden die Maxima und Minima der Lufttemperatur an heiteren Tagen dargestellt.

An allen drei Beobachtungspunkten findet man, dass mit der Entfernung über den Boden die Temperaturmaxima abnehmen, und die Temperaturminima zu nehmen. Die Lufttemperatur ist am höchsten in R e j t e k, am geringsten am H á r m a s k ú t. Für die letztgenannte Beobachtungsstelle ist es auch kennzeichnend, dass im Höhenintervall von 1 m bis 4 m die Maxima der Lufttemperatur annähernd den gleichen Wert besitzen. Dies kann durch

Tabelle IV.

Maxima (*M*), Minima (*m*), und Tagesamplituden (ΔT) der Lufttemperatur an einer Gebirgswiese an heiteren Tagen (nach Messungen mit Widerstandsthermometer)

Höhe	Rejtek			Kurtabérc			Hármaskút		
	Max.	min.	ΔT	Max.	min.	ΔT	Max.	min.	ΔT
10 cm	29,5	7,8	21,7	25,2	8,1	17,1	23,5	10,2	13,3
50 cm	27,5	8,0	19,5	24,5	9,0	15,5	21,4	10,5	10,9
100 cm	26,9	8,1	18,8	23,4	9,3	14,1	21,0	11,4	9,6
150 cm	26,6	8,2	18,4	23,3	9,5	13,8	21,0	11,5	9,5
300 cm	26,2	8,7	17,5	22,7	9,8	12,9	21,1	11,8	9,3
400 cm	26,1	9,0	17,1	22,6	10,0	12,6	20,9	12,2	8,7
500 cm				22,4	10,3	12,1			

die lebhafteste Luftbewegung bei Tage erklärt werden, die es bewirkt, dass die kräftigere tägliche Erwärmung nur auf die unterste 50-cm-Schicht beschränkt wird. Ein Wert, der dem Temperaturmaximum der klimatologischen Station an heiteren Tagen entspricht (S. Tabelle III.) kann innerhalb des mikroklimatischen Raumes nur in einer Höhe von 20 bis 30 cm beobachtet werden. An der klimatologischen Station ist der durchschnittliche Wert des Temperaturminimums gleich den Minimumtemperaturen eines Thermometers, der in 150 cm Höhe über dem Boden angebracht ist; demzufolge ist die durchschnittliche Temperaturamplitude gleich dem für 40–50 cm Höhe gültigen Werte der Differenz $T_{\max} - T_{\min}$ ($= \Delta T$). (Die in der Wetterhütte gemessenen Maxima und Minima der Lufttemperatur am Kurtabérc entsprechen den Temperaturdurchschnittswerten, welche im mikroklimatischen Raume in einer Höhe von 160 cm, bzw. 500 cm gemessen wurden, und der Wert ΔT entspricht den Werten, die im mikroklimatischen Raume in einer Höhe von 300 cm erhalten wurden.)

Die an der Bergwiese von Rejtek gemessenen Werte T_{\max} und T_{\min}

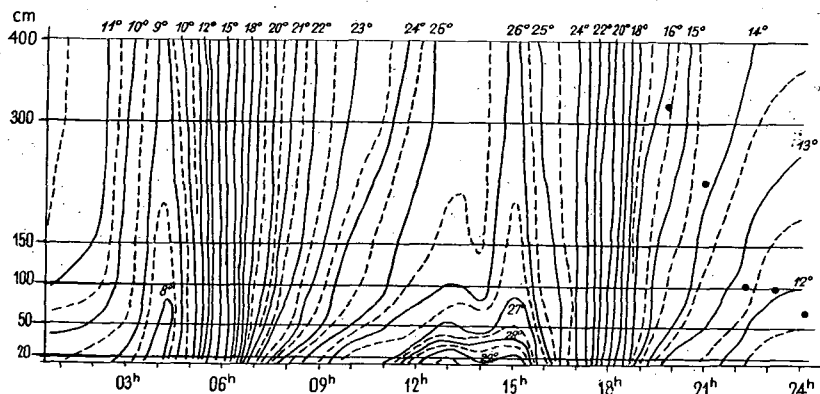


Abb. 6. Isoplethen der Lufttemperatur an heiteren Tagen an einer Bergwiese (Rejtek).

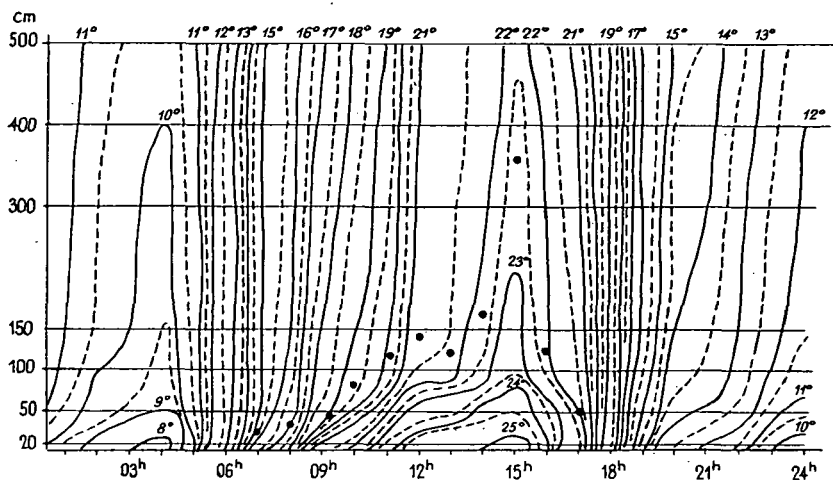


Abb. 7. Isoplethen der Lufttemperatur an heiteren Tagen an einer Bergwiese (Kurtabérc)

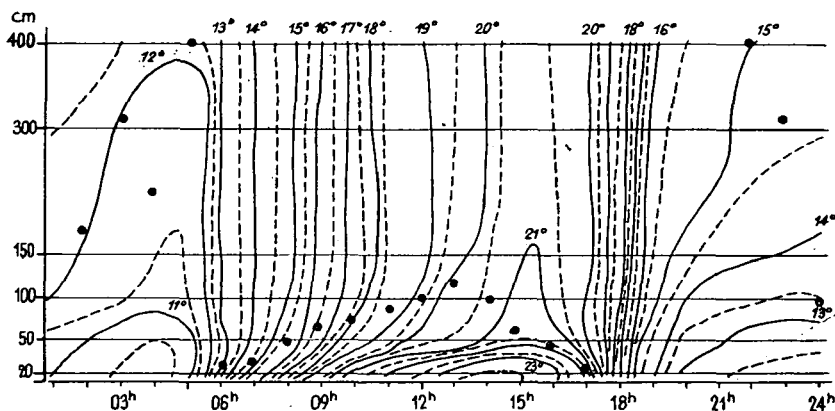


Abb. 8. Isoplethen der Lufttemperatur an heiteren Tagen an einer Bergwiese (Hármaskút)

sind in keinem Niveau gleich den in der Hütte gemessenen Werten. Das für die Hütte gültige T_{\max} hat einen niedrigeren Wert als alle übrigen Werte T_{\max} , hingegen hat T_{\min} in der Hütte einen höheren Wert als die übrigen Werte T_{\min} . Demzufolge besitzt auch ΔT einen höheren Wert in der bodennahen Luftschicht.

An den Abbildungen 6, 7 und 8 werden die Temperaturisoplethen der drei Beobachtungsstellen dargestellt. Auch die in der Hütte gemessenen Temperaturen sind in diesen Abbildungen mittels Zeichen eingetragen, und daraus geht es hervor, mit welchen mikroklimatologischen Niveaus die in der Hütte gemessenen Werte übereinstimmen. Ausgehend von diesen Zeichen sind in der Richtung nach dem Boden die Nachttemperaturen niedriger, und die Tagestemperaturen höher als in der Hütte. Die Reihe dieser Zeichen gibt annäherungsweise auch die vertikale Erstreckung des mikroklimatischen Gebietes

im vermessenen Raume an, und gleichzeitig wird durch ihr auch die Grenze des grösseren Temperaturgradienten angegeben. In Fällen, in welchen die in der Hütte festgestellten Temperaturwerte nicht mit Temperaturen im mikroklimatischen Raume identifiziert werden können, muss es vorausgesetzt werden, dass die vertikale Erstreckung des mikroklimatischen Gebietes grösser ist als die der vermessenen Luftschicht.

Werden die Temperaturisoplethen von H á r m a s k ú t, K u r t a b é r c und R e j t e k aus diesem Gesichtspunkte untersucht, so kann es festgestellt werden, dass am H á r m a s k ú t die vertikale Erstreckung des mikroklimatischen Raumes zur Zeit der Einstrahlung nicht einmal eine Höhe von 150 cm erreicht, in den Abendstunden erstreckt sich aber die selbe auf die ganze untersuchte Luftschicht und sogar noch weiter nach oben, und von Mitternacht bis 6—7^h am Morgen erstreckt sie sich bis zur Höhe von 300 cm.

Am K u r t a b é r c nimmt die Vertikalerstreckung von Tagesanbruch an stetig zu bis zu einer Höhe von 300 cm (um 14^h), dann erfolgt eine rapide Schrumpfung, und vom Abend bis zum Morgen erstreckt sich die sich ansammelnde kalte Luftschicht, welche noch dem mikroklimatischen Raume zuge-rechnet werden muss, bis über 5 m Höhe.

In R e j t e k erstreckt sich das mikroklimatische Gebiet bei Tage und bei Nacht höher als der durch Messungen erfasste Raum.

Lufttemperaturen im Walde

Natürlich dürfen die mikroklimatischen Verhältnisse der Wälder nicht auf der obigen Grundlage beurteilt werden, da die vertikale Erstreckung des mikroklimatischen Gebietes im Walde von der Baumhöhe und von dem Grade des Zusammenschlusses der Laubkronen abhängt. Dementsprechend wurden im Laufe unserer Untersuchungen keine Wetterhütten innerhalb des Waldes errichtet, auch schon deswegen nicht, weil mit der Ausnahme des Nadelholzbestandes am Kurtabérc, hierzu das Fällen von Bäumen erforderlich gewesen wäre, und dadurch der Waldbestand eine Störung erlitten hätte. In der Tat waren am K u r t a b é r c Thermometer nur in der Stammzone des Nadelholzes angebracht, hingegen wurden in R e j t e k und am H á r m a s k ú t die hängenden Thermometer in der Laubkronenzone eines jungen Buchenbestandes untergebracht.

Die von uns durchgeführten Waldtemperaturmessungen (Tabelle V.) zeigen für alle drei Stationen, dass sowie zur Zeit der Maxima, wie auch zur Zeit der Minima die vertikalen Temperaturunterschiede sehr gering ausfallen.

Alle drei Waldbestände erwärmen sich gleichmässig und dasselbe gilt auch für die Abkühlung. Dennoch bestehen auch charakteristische Unterschiede. Im jungen Buchenbestand von R e j t e k wird die warme Luft in Bodennähe angehäuft (zwischen 150 und 200 cm), in grösserer Höhe findet man eine gewisse Abnahme der Lufttemperatur, was durch die lebhaftere Luftbewegung am Tage erklärt werden kann. Die Minima weisen in der untersten 4-meter-Schicht sehr geringe Abweichungen auf. Im Fichtenbestand am Kurtabérc beweisen sowie die Maxima als auch die Minima das Vorhandensein einer Temperaturinversion. Die gleiche Lage wird auch bei H á r m a s k ú t getroffen (S. die Abbildungen).

Die Temperaturunterschiede zwischen Wiese und Wald werden in Tabelle VI. dargestellt. Bei der Berechnung dieser Tabelle wurden aus den Angaben

Tabelle V.

Maxima (M), Minima (m) und Amplituden (ΔT) der Lufttemperatur an heiteren Tagen im Walde. (Nach Messungen mit Widerstandsthermometern).

Höhe	Rejtek			Kurtabérc			Hármaskút		
	Max.	min.	ΔT	Max.	min.	ΔT	Max.	min.	ΔT
10 cm	25,8	8,7	17,1	20,6	9,8	10,8	18,7	10,7	8,0
50 cm	25,7	8,8	16,9	20,9	10,0	10,9	19,3	11,2	8,1
100 cm	25,8	8,9	16,9	20,9	10,1	10,8	19,5	11,6	7,9
150 cm	25,8	8,9	16,9	21,0	10,3	10,7	19,8	11,8	8,0
300 cm	25,3	8,8	16,5	21,0	10,7	10,3	19,6	11,8	7,8
400 cm	25,4	8,7	16,7	21,0	10,6	10,4	19,2	11,3	7,9

Tabelle VI.

Durchschnittliche Temperaturunterschiede an heiteren Tagen (Wiese—Wald)

Höhe	Rejtek (550 m NN)		Kurtabérc (730 m NN)		Hármaskút (910 m NN)	
	Max.	min.	Max.	min.	Max.	min.
10 cm	3,7	—0,9	4,6	—3,8	4,8	—0,5
50 cm	1,8	—0,8	3,6	—1,0	2,1	—0,7
100 cm	1,1	—0,8	2,5	—0,8	1,5	—0,2
150 cm	0,8	—0,7	2,3	—0,8	1,2	—0,3
300 cm	0,9	—0,1	1,7	—0,9	1,5	0,0
400 cm	0,7	0,3	1,6	—0,6	1,4	0,6

der auf der Wiese errichteten Beobachtungsstelle die Angaben der Waldstation subtrahiert.

An allen drei Beobachtungsstellen findet man die höchsten Temperaturunterschiede zwischen den beiden Stationen in einer Höhe von 10 cm. Auch durch die Arbeit von R. LÜTZKE (1961) wird es bekräftigt, dass die grössten

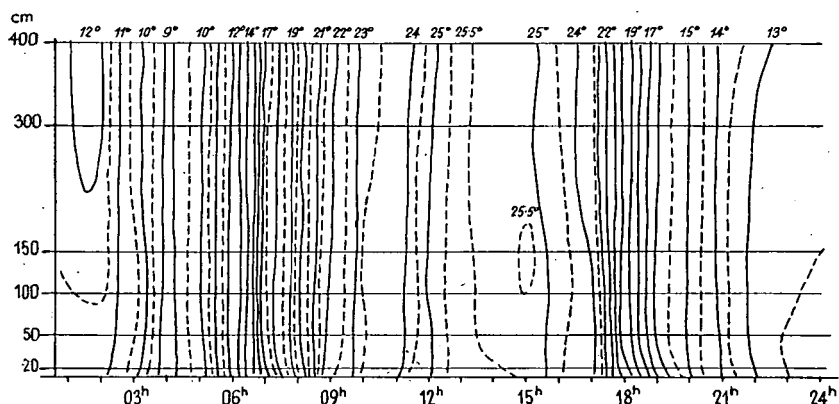


Abb. 9. Isoplethen der Lufttemperatur an heiteren Tagen, junger Buchenbestand (Rejtek).

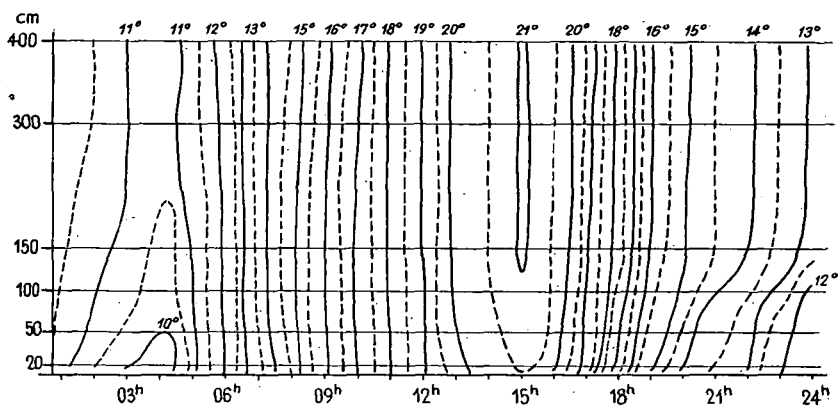


Abb. 10. Isoplethen der Lufttemperatur an heiteren Tagen, 50 Jahre alter Nadelholzbestand (Kurtabérc).

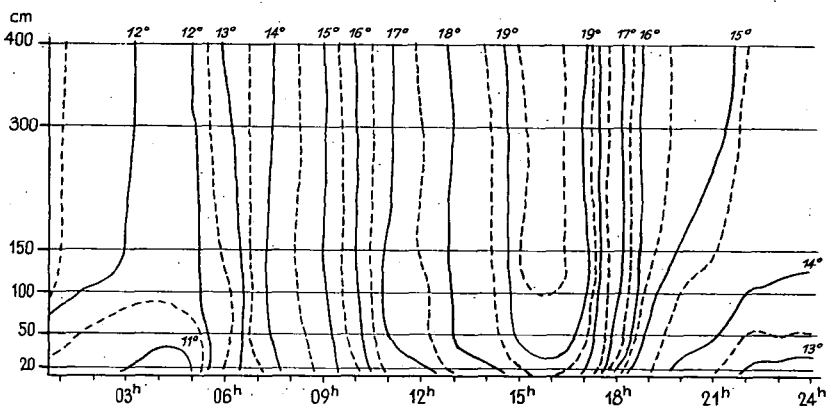


Abb. 11. Isoplethen der Lufttemperatur an heiteren Tagen, junger Buchenbestand (Hármaskút)

Unterschiede in der Lufttemperatur zwischen Wiese und Wald in Bodennähe aufzufinden sind. Die beschattende Wirkung der Baumkronen kommt in der untersten 4-meter Schicht des Waldbestandes zur Geltung. Zur Zeit des Temperaturminimums wird der grösste Schutz gegenüber der Ausstrahlung durch den alten 40 m hohen Kiefernbestand geboten, in allen Messungsniveaus ist hier die Temperatur höher als im offenen Gelände. Gleichzeitig muss in den jungen Buchenbeständen in der Höhe von 3 bis 4 m mit einer tätigen Oberfläche gerechnet werden und in 4 m Höhe ist die Temperatur, wenn auch in geringem Ausmasse, niedriger als in 4 m Höhe über der Wiese.

In den Maximumtemperaturen findet man die höchsten Temperaturunterschiede zwischen Wiese und Wald am Kurtabérc (durchschnittlich 2,7 Grade), was offenbar als eine Wirkung der Pflanzenbedeckung aufzufassen ist. In Hármaskút ist der Temperaturunterschied zwischen Wiese und

Wand in allen Niveaus höher (durchschnittlich 2,1 Grade) als in Rejték (durchschnittlich 1,5 Grade). Diese Unterschiede stehen wahrscheinlich mit der Seehöhe in Zusammenhang.

Unterschiede der Lufttemperatur in Mikroklimatischen Räumen die in verschiedenen Seehöhen liegen

Um eine Bewertung der in verschiedenen Seehöhen gelegenen mikroklimatischen Räume zu erlangen, unternehmen wir den Versuch, die Maxima bzw. die Minima der Lufttemperatur je durch eine einzige Grösse zu kennzeichnen. Dieselben bilden wir, indem wir Durchschnittswerte aus den Maxima aller Beobachtungsniveaus (von 10 cm bis 400 cm) sowie Durchschnittswerte aus den Minima aller Beobachtungsniveaus herstellen. Diese Durchschnittswerte für die Schicht 10—400 cm und die auf dieser Grundlage festgestellten Amplituden wurden in Tabelle VII. zusammengefasst.

Tabelle VII.

Durchschnittliche Maxima, Minima und Tagesamplituden der Lufttemperatur an heiteren Tagen über der Wiese und im Walde

	Rejték		Kurtabére		Hármaskút	
	Wiese	Wald	Wiese	Wald	Wiese	Wald
Max. °C	27,1	25,6	23,6	20,9	21,5	19,4
Min. °C	8,3	8,8	9,3	10,3	11,3	11,5
ΔT °C	18,8	16,8	14,3	10,6	10,2	7,9

Wie in Tabelle III., so ist auch hier ersichtlich, dass die Temperaturmaxima mit der Seehöhe abnehmen, die Temperaturminima hingegen ansteigen, und folglich ergibt sich natürlich auch eine Abnahme der Tagesamplitude der Temperatur.

Werden die Lufttemperaturunterschiede der auf den einzelnen Isohypsen liegenden Beobachtungsstellen auf 100 m betragende Höhenunterschiede bezogen, so können wir gewisse Anhaltspunkte über den Zusammenhang erhalten, der zwischen der Seehöhe und der Temperaturabnahme besteht.

In der Tabelle VIII. werden die Temperaturunterschiede an heiteren Tagen in Einheiten von °C/100 m mitgeteilt. (Abkürzungen für die Beobachtungsstellen: R = Rejték, K = Kurtabére, H = Hármaskút).

Im Falle der T_{\max} betragen die Temperaturunterschiede zwischen je zwei Beobachtungsstellen sowie an der Wiese wie auch im Walde höhere Werte als die aus den Hüttenbeobachtungen erhaltenen Angaben. Auch sind die Tagesamplituden der Temperatur an der Wiese und im Walde grösser als in den Hüttenbeobachtungen. Zwischen Rejték und Hármaskút weisen die auf der Wiese gemessenen durchschnittlichen Temperaturamplituden, auf Grund des Höhenunterschiedes, eine Abweichung von

2,39 °C/100 m

auf. Für die beiden Wälder ergibt sich eine ähnliche Tagesamplitude der Temperatur, namentlich

2,47 °C/100 m.

Tabelle VIII.

Lufttemperaturunterschiede (in °C/100 m) an heiteren Tagen

Paare von Beobach- tungs- stellen	T _{max}			T _{min}			T _{max} —T _{min}		
	Hütte	Wiese	Wald	Hütte	Wiese	Wald	Hütte	Wiese	Wald
R—K	0,94	1,93	2,61	—0,61	—0,56	—0,83	1,56	2,50	3,44
R—H	0,67	1,56	1,72	—0,64	—0,83	—0,75	1,31	2,39	2,47
K—H	0,39	1,17	0,83	—0,67	—1,11	—0,67	1,06	2,28	1,50

Zur Zeit des Eintretens des Temperaturmaximums T_{\max} ist die Erwärmung des Waldes in H á r m a s k ú t im Vergleich zu R e j t e k geringer als die gleichzeitige Erwärmung der Wiese, hingegen ist zur Zeit des Temperaturminimums T_{\min} die Abkühlung auf der Wiese stärker. Dies ist der Grund für die Tatsache, dass die Abnahme der Temperatur mit der Höhe sowie an der Wiese als auch im Walde nahezu in gleicher Weise vor sich geht, was eine wesentliche Abweichung von den in der Klimahütte gemässenen Angaben bedeutet.

Bei den Temperaturminima ersieht man, dass der vertikale Temperaturunterschied nur halb so gross zwischen R e j t e k und K u r t a b é r c ausfällt als zwischen K u r t a b é r c und H á r m a s k ú t. Dies beweist (im Vergleich mit den Klimabeobachtungen) dass die Abkühlung der Wiese am K u r t a b é r c auf ihre Höhenlage bezogen eine kräftigere ist.

Der Eintritt der Temperaturmaxima bzw. Minima erfolgt nicht unbedingt in einer synchronen Weise, und aus diesem Grunde errechneten wir die Temperaturunterschiede zwischen den in verschiedener Seehöhe aufgestellten Stationen für die einzelnen Tagesstunden an heiteren Tagen.

Zwischen R e j t e k - Wiese und H á r m a s k ú t - Wiese tritt die grösste Temperaturabweichung um 8^h auf und beträgt 7,2—7,3 Grade (in einer Höhe von 10 bzw. 50 cm). Im allgemeinen treten nach 8^h die Werte des Temperaturunterschiedes von 6 Graden auf und dieser Wert besteht unter gewissen Rückfällen bis zu 15^h. Identische, oder annähernd identische Temperaturen treten um 20^h und zwischen 5^h und 6^h auf. Zur *Nachtszeit gibt es eine Temperaturinversion, d. h. der Luftraum der Wiese zu Rejteck ist kühler als derselbe der Wiese am Hármaskút.* Der grösste Temperaturunterschied wurde um 4^h in einer Höhe von 100—150 cm gefunden, derselbe betrug 3,3 Grade.

Der Grund für den maximalen Temperaturunterschied, der

$$2,00—2,02 \text{ }^{\circ}\text{C}/100 \text{ m}$$

beträgt, ist in der gewaltigen Erwärmung des Luftraumes von R e j t e k zu suchen, und der maximale Temperaturunterschied am Morgen, dessen Betrag

$$0,9 \text{ }^{\circ}\text{C}/100 \text{ m}$$

ist, verschiebt sich deswegen in die Höhenlage von 100—150 cm, weil am H á r m a s k ú t die Anhäufung der kalten Luft nicht so kräftig ist, als an der Wiese in R e j t e k.

Im Vergleich der beiden Wälder kommt es öfter vor, dass (hauptsächlich

in der Höhe von 10 cm) die Temperatur in der Zeit zwischen 10^h und 13^h in Rejtek um 8 Grade höher ist, d. h. ein Gradient von
2,25 °C/100 m

besteht, hingegen ist dieselbe am Morgen in der Höhe von 400 cm um 3,1 Grade niedriger, d. h. der Gradient beträgt
0,86 °C/100 m.

Zwischen 6 und 7 Uhr sind die Temperaturen der beiden Wälder annähernd identisch, hingegen ist am Abend um 19—20 Uhr die Temperatur nur in der Schicht 150—400 cm identisch, und in Bodennähe tritt die Identität der Temperaturen erst um 22^h ein.

An unseren in verschiedener Seehöhe liegenden Stationen haben wir auch noch die Geschwindigkeit der Erwärmung und der Abkühlung untersucht. Zu diesem Zwecke wurden die Temperaturunterschiede in der Zeit von 4^h bis 7^h und in der Zeit von 17^h und 20^h festgestellt (Tabelle IX.). Aus den

Tabelle IX.

Geschwindigkeit der Erhöhung und der Abnahme (—) der Lufttemperatur, °C/Stunde

	Wiese		Wald		Klimahütte	
	(4—7h)	(17—20h)	(4—7h)	(17—20h)	(4—7h)	(17—20h)

Rejtek (550 m NN)

10 cm	4,53	—3,80	2,67	—2,90	1,67	—2,80
50 cm	3,97	—3,47	2,77	—2,93		
100 cm	3,83	—3,30	2,87	—3,13		
150 cm	3,73	—3,20	2,87	—3,07		
300 cm	3,30	—2,93	2,90	—2,93		
400 cm	3,13	—2,77	2,87	—2,90		

Kurtabérc (730 m NN)

10 cm	2,67	—3,33	1,20	—1,57	1,20	—1,80
50 cm	2,00	—2,97	1,17	—1,50		
100 cm	1,87	—2,57	1,23	—1,40		
150 cm	1,80	—2,50	1,17	—1,40		
300 cm	1,70	—2,23	1,03	—1,37		
400 cm	1,63	—2,10	1,03	—1,43		
500 cm	1,50	—1,97				

Hármaskút (910 m NN)

10 cm	1,73	—3,00	0,90	—1,50	1,00	—1,43
50 cm	1,20	—2,57	0,83	—1,60		
100 cm	0,90	—2,17	0,67	—1,53		
150 cm	0,83	—1,93	0,67	—1,43		
300 cm	0,73	—1,67	0,67	—1,30		
400 cm	0,67	—1,57	0,63	—1,33		

Angaben der Klimahütten geht es hervor, dass *die Geschwindigkeit der Erwärmung sowie der Abkühlung mit der Höhe abnimmt. Am Abend ist die Geschwindigkeit der Temperaturänderung grösser als am Morgen.*

Im wesentlichen findet man die gleichen Besonderheiten auch in den Lufträumen der Bergwiesen. Die einzige Ausnahme kann in Rejtek beobachtet werden, wo die Geschwindigkeit der morgendlichen Erwärmung eine grössere war als die der abendlichen Abkühlung. Die Gründe hierfür sollten in der Horizontbeschränkung nach Westen des betreffenden Gebietes und in seiner morphologischen Lage gesucht werden (Siehe Abb. 2). Im Walde des in Frage stehenden Gebietes hat, wenn auch in geringem Ausmasse, die abendliche Abkühlung eine etwas grössere Geschwindigkeit als die morgendliche Erwärmung.

Es kann zweifellos festgestellt werden, dass an allen den drei untersuchten Wiesen die Geschwindigkeiten der Erwärmung und der Abkühlung von dem Boden nach der Höhe zu abnehmen. Dies ist eine natürliche Folge der im mikroklimatischen Raume vorhandenen Temperaturverteilung.

In den Wäldern besteht vom Boden bis zu einer Höhe von 400 cm in den Temperaturänderungen am Morgen und am Abend nur ein Unterschied von 0,1—0,2 °C.

Auf Grund der Angaben der Tabelle III. kann es weiter festgestellt werden, dass *die Geschwindigkeit der Temperaturänderungen am Morgen und am Abend bei steigender Seehöhe abnimmt.* Die Verlangsamung der Temperaturänderung ist für den Morgen bedeutender als für den Abend. Diese Feststellung besitzt ihre Gültigkeit sowie für die bodennahe Luftschicht der Wiese als auch für die des Waldes. Freilich (da die Temperaturänderung im Luftraume über den Bergwiesen mit grösserer Geschwindigkeit vor sich geht) ist auch die Einwirkung der Seehöhe eine grössere als im Walde.

Es soll erwähnt werden, dass von den an Abb. 8 der Arbeit von A. BAUMGARTNER und G. HOFMANN (1957) dargestellten Temperaturisoplethen (die sich auf in verschiedener Seehöhe sich befindenden forstmeteorologischen Stationen beziehen) die Abnahme der Geschwindigkeit der Erwärmung und der Abkühlung mit der Höhe abgelesen werden kann, doch zeigen hier die Isoplethen, dass die Geschwindigkeit der morgendlichen Erwärmung in diesem Falle grösser war als die der abendlichen Abkühlung.

Diese Abweichung gegenüber den Ergebnissen unserer Untersuchungen im Bück-Gebirge kann eine Folge des Umstandes sein, dass die in der erwähnten Arbeit behandelten Beobachtungsangaben zur Zeit einer Sonnendeklination von 0° (am 21. und 22. September) gewonnen wurden und die dort untersuchten Stationen auf einem nahezu gleichmässigen WSW-Hange gelegen waren.

Die Bodentemperatur

Die Bodentemperaturen wurden in den Tiefen von 2, 5, 10, 15 und 20 cm in Rejtek Kurtabérc und Hármaskút stündlich beobachtet. Die Extremwerte der Bodentemperaturen werden somit durch die höchsten und niedrigsten Stundenmittel ausgedrückt, und eben aus diesem Grunde werden bei dem Vergleich mit den Hütten-temperaturen nicht die Extremwerte der Lufttemperatur, sondern auch in diesem Falle die höchsten und niedrigsten Stundenmittel herangezogen.

Die Angaben wurden nach heiteren Tagen (0—20% Bewölkung), wolkgigen Tagen

(21—79%) und bedeckten Tagen (80—100%) gruppiert. Nur im Falle von H á r m a s k ú t wurden die Bodentemperaturen an bedeckten Tagen nicht mit angeführt, weil hier an einem regnerischen Tage Störungen bei der Ausführung der Beobachtungen vorgefallen waren.

Es wird versucht, die Werte der Bodentemperatur nach dreierlei Gesichtspunkten kurz zu besprechen:

- a) *Einfluss der Bewölkung auf die Bodentemperatur.*
- b) *Bodentemperatur-Unterschiede zwischen Wiese und Wald*
- c) *Einfluss der Seehöhe auf die Bodentemperatur.*

Einfluss der Bewölkung auf die Bodentemperatur

Auf der Wiese ist an heiteren Tagen der wahre Tagesmittelwert der Bodentemperatur in allen Tiefen höher als an der gleichen Station an wolkigen Tagen. Die einzige Ausnahme findet sich in H á r m a s k ú t, wo die Temperatur in den Tiefen von 10 und 15 cm gleich hoch und in der Tiefe von 20 cm um 0,1 Grad höher ist als an wolkigen Tagen. An den bedeckten Tagen ist das wahre Temperaturmittel annähernd gleich hoch als an den wolkigen Tagen (S. Tabelle X.).

Den grössten Temperaturunterschied zwischen heiteren und wolkigen Tagen (1,7 Grade) finden wir zu R e j t e k in der Tiefe von 2 cm. In K u r t a b é r c hat man in der gleichen Tiefe nur noch 1,1 Grade, in H á r m a s k ú t nur 0,6 Grade an den wolkigen Tagen in Vergleich zu den heiteren Tagen.

Freilich nimmt die Tagesamplitude der Temperatur nach unten konsequent ab an allen Beobachtungsstellen, und in allen Kategorien der Bewölkungsgrade. Die selbe Tendenz beobachtet man auch bei den Maxima der Bodentemperatur.

Die Maxima der Bodentemperatur sind am höchsten an den heiteren Tagen und am niedrigsten an den bewölkten Tagen. Daraus geht es hervor, dass an den Gebirgswiesen, wie überhaupt im offenen Gelände, die Tagesamplituden und die Maxima der Bodentemperatur in den oberen Bodenschichten mit zunehmender Tiefe und auch mit zunehmender Bewölkung abnehmen.

In R e j t e k und K u r t a b é r c sind die Maxima der Bodentemperatur an wolkigen Tagen in allen Tiefen niedriger als bei heiterem Wetter. Infolge des Tagesganges der Bewölkung ist die Tageserwärmung des Bodens gemässiger, wogegen bei Nacht die geringere Bewölkung ein geringeres Hindernis für die Ausstrahlung bildet und die Böden erleiden eine Abkühlung. Hingegen bei bedecktem Wetter, namentlich, wenn die Himmelbedeckung im Laufe der ganzen Nacht eine vollkommene ist, liegen die Minima der Bodentemperatur höher als bei heiterem Wetter.

In H á r m a s k ú t liegen — wenn auch in geringerem Grade — die Minima der Bodentemperatur an den wolkigen Tagen ebenfalls höher als bei heiterem Wetter. Hier spielt aber auch der Umstand eine Rolle, dass an dem zu den heiteren Tagen gerechneten 31. Juli, 4. und 7. August bei Sonnenaufgang vorübergehende Wolkendurchzüge sich abgespielt hatten, durch welche ebenfalls eine Mässigung der Ausstrahlung bewirkt wurde. Wie aus der Tabelle X. ersichtlich ist, sind in R e j t e k und H á r m a s k ú t nach den Beobachtungen in der Hütte die Lufttemperaturen niedriger an bewölkten Tagen als

Tabelle X.

Boden- und Lufttemperaturen (in Hütte und auf der Wiese) nach Bewölkungsgraden geordnet

Stationen		Heitere Tage					Bewölkte Tage					Bedeckte Tage				
		Wahres Tempe- ratur- mittel	Max.	min.	Max.— min.	%	Wahres Tempe- ratur- mittel	Max.	min.	Max.— min.	%	Wahres Tempe- ratur- mittel	Max.	min.	Max.— min.	%
Rejtek	200 cm		24,7	10,6	14,1			22,0	9,5	12,5			17,6	12,8	4,8	
	2 cm	20,3	26,3	15,3	11,0	78,0	18,6	22,6	14,7	7,9	63,2	18,3	19,8	16,8	3,0	64,6
	5 cm	19,9	23,6	16,6	7,0	49,7	18,5	21,2	15,8	5,4	43,2	18,3	19,3	17,3	2,0	41,7
	10 cm	19,5	22,4	16,9	5,5	39,0	18,2	20,3	16,1	4,2	33,6	18,2	19,0	17,3	1,7	35,4
	15 cm	19,3	21,7	17,2	4,5	31,9	18,2	19,9	16,5	3,4	27,2	18,2	18,9	17,6	1,3	27,1
	20 cm	19,2	20,8	17,7	3,1	22,8	18,2	19,4	17,0	2,4	19,2	18,2	18,7	17,8	0,9	18,7
Kurta- bérc	200 cm		22,6	11,9	10,7			19,7	9,3	10,4			16,2	12,2	4,0	
	2 cm	17,6	21,1	14,7	6,4	59,8	16,5	19,7	14,0	5,7	54,8	16,6	17,6	15,5	2,1	52,5
	5 cm	17,4	20,3	15,0	5,3	49,5	16,5	18,7	14,3	4,4	42,3	16,4	17,2	15,6	1,6	40,0
	10 cm	17,5	19,5	15,7	3,8	35,5	16,6	18,2	15,1	3,1	29,8	16,6	17,2	16,0	1,2	30,0
	15 cm	17,2	18,3	16,1	2,2	20,6	16,6	17,5	15,6	1,9	18,3	16,7	17,0	16,4	0,6	15,0
	20 cm	16,9	17,6	16,2	1,4	13,1	16,4	16,9	15,8	1,1	10,6	16,5	16,7	16,2	0,5	12,5
Hármas- kút	200 cm		21,8	11,7	10,1			19,2	12,3	6,9						
	2 cm	14,7	18,2	12,5	5,7	56,4	14,1	15,8	12,7	3,1	45,0					
	5 cm	14,5	16,2	13,2	3,0	29,7	14,3	15,3	13,3	2,0	29,0					
	10 cm	14,0	14,9	13,3	1,6	15,8	14,0	14,5	13,5	1,0	14,5					
	15 cm	13,8	14,3	13,3	1,0	10,0	13,8	14,1	13,4	0,7	10,1					
	20 cm	13,5	13,9	13,2	0,7	6,9	13,6	13,8	13,3	0,5	7,2					

„%“, bedeutet: Tagesamplitude der Bodentemperatur, ausgedrückt in Prozenten der Tagesamplitude in der Hütte

bei heiterem Wetter, nur in H á r m a s k ú t ist der Wert etwas höher, was ebenfalls auf die Eintrübung bei Sonnenaufgang hinweist.

Der Einfluss der Bewölkung auf die Bodentemperatur wurde durch mehrere Verfasser behandelt. Siehe auch in dieser Hinsicht das Werk von R. GEIGER (1961). Über den Einfluss der Strahlung und der Bewölkung auf die Bodentemperaturen im Gebirge erhalten wir hauptsächlich aus den Arbeiten von H. TURNER (1958—a, 1959—b) einen Aufschluss. H. AULITZKY (1962) führt eine Tabelle an für die Station Obergurgl-Poschach Waldgrenze I (Seehöhe 2072 m) betreffend die Amplituden der Bodentemperatur (in 0 bis 1 cm Tiefe) nach verschiedenen Bewölkungsstufen geordnet (0—3 = heiter, 4—7 = wolkig, 8—10 = bedeckt). Natürlich können diese Angaben nicht mit den Ergebnissen, die im B ü c k - G e b i r g e gewonnen wurden, verglichen werden, infolge der Abweichungen, die betreffend der Seehöhe, der Pflanzenbedeckung und den Beobachtungstiefen bestehen. Es lohnt sich aber zu erwähnen, dass an der Alpenstation der durchschnittliche Wert der Tagesamplitude der Bodentemperatur in August 28,5 Grade betrug, an wolkigen Tagen hingegen 23,0 Grade und an bewölkten Tagen 18,6 Grade. Auf die Amplituden der heiteren Tage bezogen, beträgt die Amplitude an wolkigen Tagen 80,7%, und an bedeckten Tagen 65,3%. Die selben Vergleichsgrößen lauten für R e j t e k 71,8 und 27,3%, für K u r t a b é r c 89,1 und 38,2%, und für H á r m a s k ú t nur 54,5%.

Die Unterschiede der Tagesamplituden der Bodentemperatur an heiteren, wolkigen und bedeckten Tagen sollen nun auch mit den Werten der Lufttemperatur verglichen werden, demzufolge werden in Tabelle X. die Tagesamplituden der Lufttemperatur mitgeteilt, errechnet auf Grund der höchsten und niedrigsten Stundenmittelwerte. Die Tagesamplituden für verschiedene Bodentiefen werden auch in Prozenten der Amplituden der Lufttemperatur ausgedrückt, deren Werte in der Spalte „%“ der Tabelle X. mitgeteilt werden. Daraus geht hervor, dass *die Tagesamplituden der Lufttemperatur in jedem Falle höher ausfielen als die Tagesamplituden der Bodentemperatur, die in einer Tiefe von 2 cm und in grösseren Tiefen gemessen wurden.* Natürlich gilt diese Feststellung nicht für die Bodenoberfläche, wo die Tagesamplituden der Temperatur stets höher sind als die der Lufttemperatur.

Diese Prozentualwerte nehmen nicht nur mit zunehmender Tiefe ab, sondern sind auch vom Bewölkungsgrade abhängig. Allein in R e j t e k finden wir an bedeckten Tagen einen etwas höheren Prozentualen Wert im Vergleich zu den wolkigen Tagen.

Werden die Temperaturamplituden an heiteren Tagen mit 100 angenommen, so gelangen wir zur folgenden Tabelle.

Tabelle XI.

Tagesamplituden in Prozenten des Amplitudenwertes an heiteren Tagen

	Bewölkte Tage		Bedeckte Tage	
	Lufttemp. 200 cm	Bodentemp. 2 cm	Lufttemp. 200 cm	Bodentemp. 2 cm
Rejtek	88,7	71,8	24,0	27,3
Kurtabérc	97,2	89,1	37,2	32,8
Hármaskút	68,3	54,4	—	—

Hieraus wird es ersichtlich, dass die Tagesamplituden der Bodentemperatur eine grössere Mässigung erleiden im Vergleich zu den Tagesamplituden der heiteren Tage als es bei den Hüttentemperaturen der Fall ist. Somit *besitzt die Abnahme der Ein- und Ausstrahlung einen grösseren Einfluss auf die Erwärmung der Böden wie auf die Gestaltung der Lufttemperatur.*

Infolge der beschattenden Wirkung der Wälder gibt es im Waldboden nicht so gewaltige Temperaturunterschiede zwischen den verschiedenen Bewölkungskategorien als im Falle des Wiesenbodens.

Die wahren Temperaturmittel liegen an bedeckten Tagen höher als an heiteren und bewölkten Tagen. Sogar sind dieselben selbst an den wolkigen Tagen in der Tiefe von 5 cm und in grösseren Tiefen höher als an den heiteren Tagen. Dieselbe Tendenz kann auch bei den Minimumtemperaturen festgestellt werden. An bedeckten und auch an wolkigen Tagen liegen die Minima der Bodentemperatur höher als bei heiterem Wetter. Die Maxima der Bodentemperatur sind (mit Ausnahme von R e j t e k) an bedeckten und wolkigen Tagen höher als an heiteren Tagen.

Die Temperaturamplituden sind allgemein grösser an heiteren Tagen und dies wird nicht durch die höheren Maxima hervorgerufen, wie im Falle der Wiese, sondern hauptsächlich dadurch, dass die Minima eine geringere Abweichung von den Werten an heiteren Tagen aufweisen. Am kleinsten sind die Amplituden der Bodentemperatur bei bedecktem Wetter, und zwischen wolkigen und heiteren Tagen ist der Unterschied ein geringerer. Dies weist darauf hin, dass durch den geschlossenen Waldbestand ein besserer Strahlungsschutz geboten wird als durch den beiden jungen Buchenbeständen.

Betrachtet man Tabelle XII., so kann es festgestellt werden, dass als Folge der höheren Temperaturminima und der geringen Tagesamplitude (zu dieser Jahreszeit) die wahren Temperaturmittel bei bedecktem Wetter am höchsten liegen, und dieselben sind sogar noch an wolkigen Tagen grösser als an heiteren Tagen.

Bodentemperatur-Unterschiede zwischen Wiese und Wald

Über die Temperaturverhältnisse im Boden des Waldes erhält man entsprechende Stützpunkte aus dem Buche von R. GEIGER (1961). Nach dem Erscheinen dieses Buches wurde durch R. LÜTZKE (1961) auf Grund seiner bei Riesenthal i. n. Mark (52° 46' N; 13° 40' E) ausgeführten Untersuchungen festgestellt, dass im Sommerhalbjahr der Boden des Waldes in einer Schichtdicke von 50 cm bei Tag und bei Nacht kälter ist als der Boden in freiem Gelände.

In der Arbeit von J. SCHUBERT (1930) wird es erwiesen, dass im wärmsten Monat des Jahres der Boden des Waldes kälter ist und im kältesten Monat derselbe (mit wenigen Ausnahmen) wärmer ist, als der Boden in unbewaldeten Gebieten.

Im B ü k k — G e b i r g e zeigen die Bodentemperatur-Unterschiede zwischen Wiese und Wald (Tabelle (XIII.)), dass in allen Bewölkungskategorien und in allen Tiefen *die Bodentemperatur der Wiese stets eine höhere ist, als die Bodentemperatur im Walde.*

Die Unterschiede zwischen den Maxima sind am grössten in einer Tiefe

von 2 cm und nehmen ab gegen die tieferen Schichten. Diese Sachlage kann an heiteren und wolkeigen Tagen überall aufgefunden werden. An bedeckten Tagen bestehen zwischen den Maxima keine wesentlichen Unterschiede, dagegen findet man eine Zunahme der Unterschiede zwischen den Minima mit der Tiefe. Dies erklärt sich dadurch, dass an bedeckten Tagen die Temperaturmaxima im Boden des Waldes mit zunehmender Tiefe abnehmen, d. h. die tägliche Inversion der Bodentemperatur in den höheren Bodenschichten anzu treffen ist.

In den anderen Bewölkungskategorien hat man in Rejték und am Kurtabérc eine Zunahme der Unterschiede der Temperaturminima mit der Tiefe. In Hármaskút hat man zunächst eine Zunahme der Minima, dann eine Abnahme in grösserer Tiefe, sowohl auf der Wiese als auch im Walde, bei heiterem und wolkeigem Wetter in gleicher Weise. (S. Tabellen X. und XII.). An den Abbildungen kann es festgestellt werden, dass die tägliche Inversionschicht an der Wiese sowohl als auch im Walde innerhalb der obersten 15-cm-Schicht des Bodens angetroffen wird (S. Abb. 13, 14).

Die Tagesamplituden der Temperatur sind in allen Fällen grösser in dem Boden der Wiese, doch nehmen die Unterschiede nach unten hin ab und eine Abnahme wird auch durch die Zunahme der Bewölkung verursacht.

Die Bodentemperatur-Unterschiede zwischen Wiese und Wald für verschiedene Bewölkungskategorien sind in Tabelle XIII. zu finden. Auch daraus geht es hervor, dass *die Temperaturunterschiede mit der Zunahme der Bewölkung abnehmen. Die stetige Abnahme der Temperaturunterschiede ist sowohl für die wahren Mittelwerte, als auch für die Maxima, besonders aber für die Tagesamplituden der Temperatur kennzeichnend.* Hier ersieht man, dass in Rejték der Unterschied in den Temperaturamplituden von Wiese und Wald an bedeckten Tagen etwa auf den Viertelteil des Wertes an heiteren Tagen ab-

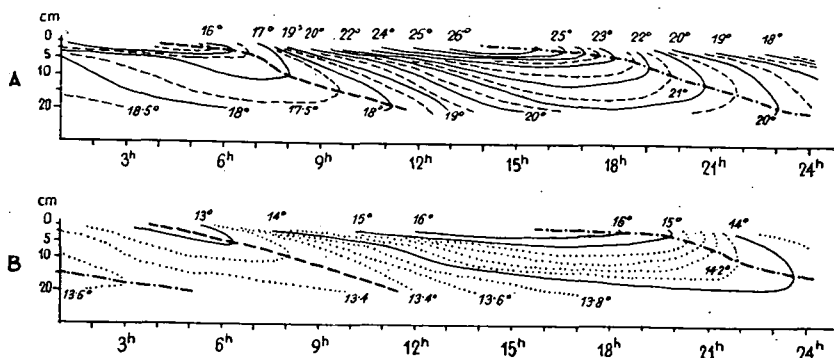


Abb. 12. Isoplethen der Bodentemperatur an heiteren Tagen in Rejték.

Zeichenerklärung:

A = an einer Bergwiese, B = im Walde.

Ausgezogene Kurven: Isoplethen für ganze Grade

Unterbrochene Kurven: Isoplethen für halbe Grade

Punktierter Kurven: Isoplethen für 0,2 Grade

Fette Ergebniskurve: Divergenzlinie (Warmenschicht)

Fette unterbrochene Kurve: Konvergenzlinie (Kaltschicht)

Tabelle XII.

Bodentemperaturen im Walde, nach Bewölkungsgraden geordnet

Station	Tiefe cm	Heitere Tage					Bewölkte Tage					Bedeckte Tage				
		Wahres Tempe- ratur- mittel	Max.	min.	Max.— min.	%	Wahres Tempe- ratur- mittel	Max.	min.	Max.— min.	%	Wahres Tempe- ratur- mittel	Max.	min.	Max.— min.	%
Rejtek	2	14,6	16,5	12,8	3,7	26,2	14,5	15,9	12,7	3,2	25,6	14,8	15,5	14,1	1,4	29,2
	5	14,0	15,1	12,9	2,2	15,6	14,1	14,9	13,0	1,9	15,2	14,5	14,9	14,0	0,9	18,8
	10	13,9	14,7	13,1	1,6	11,3	13,9	14,5	13,1	1,4	11,2	14,4	14,7	14,0	0,7	14,6
	15	13,7	14,2	13,3	0,9	6,4	13,8	14,3	13,3	1,0	8,0	14,2	14,4	14,0	0,4	8,3
	20	13,6	13,9	13,4	0,5	3,5	13,8	14,0	13,6	0,4	3,2	14,1	14,2	14,0	0,2	4,2
Kurtabérc	2	12,6	13,3	11,7	1,6	15,0	12,5	13,3	11,7	1,6	15,4	13,2	13,5	12,8	0,7	17,5
	5	12,2	12,6	11,7	0,9	8,4	12,3	12,8	11,9	0,9	8,7	12,9	13,0	12,7	0,3	7,5
	10	12,0	12,5	11,6	0,9	8,4	12,0	12,4	11,6	0,8	7,7	12,7	12,8	12,5	0,3	7,5
	15	11,6	11,8	11,4	0,4	3,7	11,8	12,0	11,6	0,4	3,8	12,3	12,3	12,2	0,1	2,5
	20	11,5	11,6	11,4	0,2	1,9	11,7	11,8	11,6	0,2	1,9	12,1	12,1	12,0	0,1	2,5
Hármaskút	2	12,3	12,9	11,5	1,4	13,9	12,6	13,1	12,1	1,0	14,5					
	5	12,2	12,6	11,7	0,9	8,9	12,6	13,1	12,3	0,8	11,6					
	10	12,2	12,6	11,8	0,8	7,9	12,7	13,1	12,4	0,7	10,1					
	15	12,2	12,6	11,9	0,7	6,9	12,7	13,0	12,4	0,6	8,7					
	20	12,0	12,2	11,8	0,4	4,0	12,5	12,7	12,3	0,4	5,8					

„%“ bedeutet: Tagesamplitude der Bodentemperatur, ausgedrückt in Prozenten der Tagesamplitude in der Höhe

Tabelle XIII.

Differenzen der Bodentemperatur (Wiese-Wald), nach Bewölkungsgraden geordnet

Sta- tion	Tiefe cm	Heitere Tage				Wolkige Tage				Bedeckte Tage			
		Wahres Tempe- ratur- mittel	Max.	min.	Max.— min.	Wahres Tempe- ratur- mittel	Max.	min.	Max.— min.	Wahres Tempe- ratur- mittel	Max.	min.	Max.— min.
Rejtek	2	5,7	9,8	2,5	7,3	4,1	6,7	2,0	4,7	3,5	4,3	2,7	1,6
	5	5,9	8,5	3,7	4,8	4,4	6,3	2,8	3,5	3,8	4,4	3,3	1,1
	10	5,6	7,7	3,8	3,9	4,3	5,8	3,0	2,8	3,8	4,3	3,3	1,0
	15	5,6	7,5	3,9	3,6	4,4	5,6	3,2	2,4	4,1	4,5	3,6	0,9
	20	5,6	6,9	4,3	2,6	4,4	5,4	3,4	2,0	4,1	4,5	3,8	0,7
Kurtabérc	2	5,0	7,8	3,0	4,8	4,0	6,4	2,3	4,1	3,4	4,1	2,7	1,4
	5	5,2	7,7	3,3	4,4	4,2	5,9	2,4	3,5	3,5	4,2	2,9	1,3
	10	5,5	7,0	4,1	2,9	4,6	5,8	3,5	2,3	3,9	4,4	3,5	0,9
	15	5,6	6,5	4,7	1,8	4,8	5,5	4,0	1,5	4,4	4,7	4,2	0,5
	20	5,4	6,0	4,8	1,2	4,7	5,1	4,2	0,9	4,4	4,6	4,2	0,4
Hármasút	2	2,4	5,3	1,0	4,3	1,5	2,7	0,6	2,1				
	5	2,3	3,6	1,5	2,1	1,7	2,2	1,0	1,2				
	10	1,8	2,3	1,5	0,8	1,3	1,4	1,1	0,3				
	15	1,6	1,7	1,4	0,3	1,1	1,1	1,0	0,1				
	20	1,5	1,7	1,4	0,3	1,1	1,1	1,0	0,1				

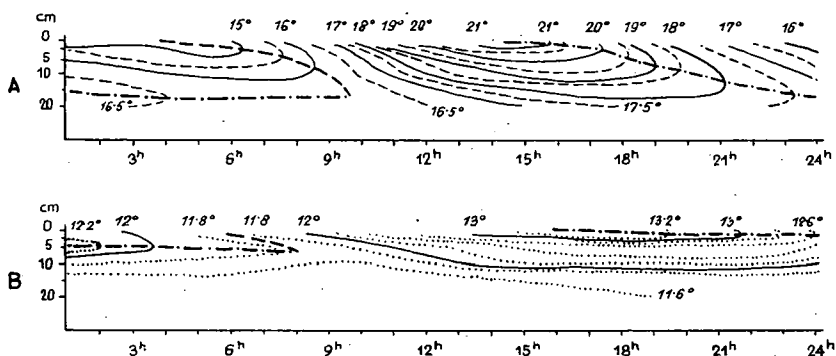


Abb. 13. Isolethen der Bodentemperatur am Kurtabérc.

Zeichenerklärung: s. Abb. 12.

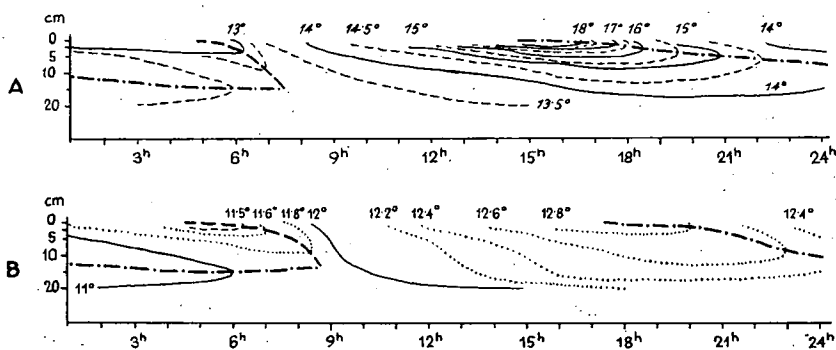


Abb. 14. Isolethen der Bodentemperatur in Hármaskút.

Zeichenerklärung: s. Abb. 12.

nimmt, und in Kurtabérc hat man einen Unterschied der etwa 30% des Unterschiedes an heiteren Tagen beträgt.

Die allgemeingültigsten Werte betreffend der Bodentemperatur-Unterschiede zwischen Wiese und Wald werden durch die Unterschiede der wahren Mitteltemperaturen geliefert, doch am meisten charakteristisch sind die Abweichungen der Tagesamplituden. Die Unterschiede zwischen Maxima bzw. Minima sind nicht notwendigerweise die grössten Abweichungen, welche in den Temperaturen des Wiesenbodens und des Waldbodens in gleichen Tiefen auftreten. Auf der Wiese besitzen die Phasenverspätungen an verschiedenen Beobachtungstellen annähernd den gleichen Charakter, im Walde treten bei wolkigem Wetter die Temperaturmaxima später auf als an heiteren Tagen. Im Walde treten, im Vergleich zur Wiese, die Maxima in der Temperatur der verschiedenen Tiefen später ein, auch im Eintreten der Minima erweisen sich gewisse Verzögerungen, obzwar dieselben nicht so bedeutend sind als bei den Maxima. An heiteren Tagen treten in Rejtek in den Tiefen von 2 und 5 cm die Minima an der Wiese und im Walde annähernd gleichzeitig auf, zwischen 10 und 20 cm Tiefe erfolgt dies mit einer Verzögerung von 30–60 Minuten.

Tabelle XIV.

Bodentemperatur-Differenzen zwischen den Stationen, °C

Stationen	Tiefe cm	An der Wiese						Im Walde					
		Heitere Tage			Bewölkte Tage			Heitere Tage			Bewölkte Tage		
		Wahres Temperatur- mittel	Max.	Min.	Wahres Temperatur- mittel	Max.	Min.	Wahres Temperatur- mittel	Max.	Min.	Wahres Temperatur- mittel	Max.	Min.
Rejtek — Kurtabérc	2	2,7	5,2	0,6	4,6	2,1	0,7	2,0	3,2	1,1	2,0	2,6	1,0
	5	2,5	3,3	1,6	1,7	2,0	1,5	1,8	2,5	1,2	1,8	1,6	1,0
	10	2,0	2,9	1,2	1,7	1,6	1,0	1,9	2,2	0,7	1,9	2,1	1,5
	15	2,1	3,4	1,1	2,3	1,6	0,9	2,1	2,4	1,9	2,0	2,3	1,7
	20	2,3	3,2	1,5	1,7	1,8	1,2	2,1	2,3	2,0	2,1	2,2	2,0
Rejtek — Hármaskút	2	5,6	8,1	2,8	5,3	4,5	2,0	2,3	3,6	1,3	1,9	2,8	0,6
	5	5,4	7,4	3,4	4,0	4,2	2,5	1,8	2,5	1,2	1,5	1,8	0,7
	10	5,5	7,5	3,6	3,9	4,2	2,6	1,7	2,1	1,3	1,2	1,4	0,7
	15	5,5	7,4	3,9	3,5	4,4	3,1	1,5	1,6	1,4	1,1	1,3	0,9
	20	5,7	6,9	4,5	2,4	4,6	3,7	1,6	1,7	0,1	1,3	1,3	1,3
Kurtabérc — Hármaskút	2	2,9	2,9	2,2	0,7	2,4	1,3	0,3	0,4	0,2	—0,1	0,2	0,6
	5	2,9	4,1	1,8	2,3	2,2	1,0	0,0	0,0	0,0	—0,3	—0,3	—0,1
	10	3,5	4,6	2,4	2,2	2,6	1,6	—0,2	—0,1	—0,1	—0,7	—0,8	—0,1
	15	3,4	4,0	2,8	1,2	2,8	2,2	—0,6	—0,8	—0,5	—0,9	—1,0	—0,8
	20	3,4	3,7	3,0	0,7	2,8	2,5	—0,5	—0,6	—0,4	—0,8	—0,9	—0,7

Bei den Maxima beträgt die Verzögerung zwischen Wiese und Wald (in den Tiefen 2 bis 20 cm) 1 bis 3 Stunden. An wolkigen Tagen finden wir in Rejtek ein ähnliches Bild, bei den Minima hat man eine Verzögerung von 0—1 Stunden, bei den Maxima eine solche von 1—2 Stunden. In Hármaskút erfolgt bei heiterem Wetter das Minimum mit einer Verzögerung von 30—90 Minuten, das Maximum mit einer solchen von 3 Stunden. An der selben Beobachtungsstelle findet man bei wolkigem Wetter einen Unterschied von 30 bis 60 Minuten in den Zeitpunkten der Minima, und bei den Maxima kann dieser Wert mit 3—4 Stunden angesetzt werden. Umso kleiner sind (hauptsächlich im Walde) die Tagesamplituden der Temperatur, desto schwieriger ist es natürlich die Zeitpunkte der Minima und Maxima festzustellen, umso mehr, weil man in grösseren Tiefen bei einer Beobachtungsgenauigkeit von 0,1 Graden mehrere Stunden hindurch die gleiche Temperatur erhalten kann. Wir sind dennoch der Ansicht, dass der Unterschied, der zwischen Rejtek und Hármaskút festgestellt werden konnte, (bei einem nahezu identischen Waldbestande) durch den Unterschied in der Seehöhe erklärt werden kann.

In Kurtabérc hat man, infolge der beschattenden Wirkung des alten Nadelholzbestandes, bei heiterem Wetter schon für den Zeitpunkt der Minima zwischen Wiese und Wald eine Verzögerung von 1—3 Stunden, und für den Zeitpunkt der Maxima eine Verzögerung von 2—4 Stunden festzustellen. Bei wolkigen Wetter ist die Zeitabweichung bei den Minima geringer, namentlich 0,5—2 Stunden, dagegen hat man aber bei der Verzögerung der Maxima Werte von 2,5—5 Stunden, mit einer Zunahme nach unten.

Werden die Temperaturen in entsprechenden Tiefen unter Wiese und Wald stündlich verglichen, so findet man, dass (ganz natürlich) ein gewisser Zusammenhang zwischen den Verzögerungen der Maxima und der Minima vorhanden ist. Die grössten und kleinsten Temperaturabweichungen unterscheiden sich sehr wenig von den Angaben, die sich in den Spalten „Max“ und „min“ der Tabelle XIII. befinden. In Rejtek hat man, gegenüber der Minima, nur in 15 cm Tiefe einen Unterschied von 0,1 Graden. Im Vergleich zu den Abweichungen der Maxima beträgt der grösste Unterschied ebenfalls nur 0,1 Grade in allen Tiefen. An wolkigen Tagen ist die Lage bei den Minima die gleiche wie an heiteren Tagen, bei den Maxima findet man einen Unterschied von 0,1—0,2 Graden. Die gleiche Lage wird auch in Hármaskút angetroffen sowohl bei heiterem als auch bei wolkigem Wetter.

Am Kurtabérc sind bei heiterem und wolkigem Wetter die Unterschiede um 0,2—0,3 Grade höher und die Abweichungen der Maxima sind um 0,1—0,2 Grade geringer als die Abweichungen der Minima.

Somit darf es anerkannt werden, dass durch die Angaben der Tabelle XIII. eine gute Übersicht über die Bodentemperatur-Unterschiede von Wiese und Wald geboten wird, und unsere Feststellung kann angenommen werden, wonach der *Wiesenboden im Sommer wärmer ist als der Waldboden, gleichwohl an heiteren, wolkigen und bedeckten Tagen*. Liegen annähernd gleiche Pflanzenbestände vor, so nehmen die Bodentemperatur-Unterschiede zwischen Wiese und Wald mit zunehmender Seehöhe ab (S. Rejtek und Hármaskút). Die beschattende Wirkung des älteren, mehr geschlossenen Bestandes (Kurtabérc) bewirkt gleichwohl bei Nacht und bei Tage eine Zunahme der Bodentemperatur-Unterschiede, hauptsächlich in grösseren Tiefen.

Bodentemperaturen in verschiedenen Seehöhen

Die Unterschiede, welche sich zwischen den Bodentemperaturen von in verschiedenen Seehöhen liegenden Stationen ergeben, sind aus Tab. XIV. ersichtlich. Nach dieser Tabelle kann es festgestellt werden, dass die grössten Temperaturabweichungen an den heiteren Tagen auf den Wiesen auftreten, und die geringsten Temperaturunterschiede ereignen sich an den wolkigen Tagen im Walde.

Zwischen Rejtek und Hármaskút sind bei wolkigem Wetter die Unterschiede der Bodentemperatur grösser als an heiteren Tagen im Walde, somit weisen die Unterschiede die folgende Reihenfolge auf:

- Bergwiese bei heiterem Wetter
- Bergwiese bei wolkigem Wetter
- Wald bei heiterem Wetter
- Wald bei wolkigem Wetter

Diese Besonderheit kann bei jeder Angabenreihe aufgefunden werden, mit der Ausnahme des 15-cm-Niveaus im Walde, wo bei wolkigem Wetter eine um 0,2 Grade stärkere Abweichung der Amplituden besteht.

Diese Besonderheit kann nicht in allen Bezügen bei den übrigen Stationspaaren aufgefunden werden. Im Waldboden werden wesentliche Abweichungen durch den kälteren Nadelholzbestand am Kurtabérc hervorgerufen. Werden die Temperaturabweichungen auf einen Höhenunterschied von 100 m bezogen, so erhält man für die Maxima Werte von 1,77 und 1,11 °C/100 m, bei den Minima 0,38 bzw. -1,11 °C/100 m, und bei den Amplituden 0,16 und -1,16 °C/100 m, wogegen zwischen Rejtek und Hármaskút sich folgende Werte ergeben: 1,00 und -0,44; 0,33 und -0,44; 0,02 und -0,63 °C/100 m.

Aus den Bodentemperaturunterschieden zwischen Kurtabérc und Hármaskút geht es hervor, dass der Boden des Nadelholzbestandes an heiteren Tagen von der obersten 5-cm-Schicht abgesehen, und an wolkigen Tagen mit der Ausnahme des 2-cm-Niveaus, überall kälter ist als der Boden des in einer um 180 m grösseren Höhenlage liegenden Buchwaldes am Hármaskút.

An den Wiesen von Rejtek und Kurtabérc sind die Unterschiede der Bodentemperatur an wolkigen Tagen geringer als im Walde bei heiterem Wetter. Die grundlegende Ursache besteht darin, dass an wolkigen Tagen die Erwärmung der Bergwiese eine verhältnismässig geringere ist als am Kurtabérc.

Bei den Maxima der Bodentemperatur und demzufolge auch bei den Tagesamplituden erhält man, im Vergleich zu den Erwartungen, in der 2-cm-Schicht geringere Abweichungen zwischen Kurtabérc und Hármaskút. Die Erklärung findet sich in der in dieser Tiefe um 13 Uhr einsetzenden gewaltigen Erwärmung. Werden aber auch die zwischen den beiden Stationen gleichzeitig auftretenden Temperaturunterschiede festgestellt, so findet man, dass diese Grösse um 12 Uhr nur den Wert von 4,9 Grade erreicht und dann entsprechend der mit der Tiefe verbundenen Phasenverspätung die Werte 4,8, 4,9, 4,2 und 3,9 °C auftreten. Aus Abb. 15 ist es ersichtlich, dass in Hármaskút der Verlauf der Bodentemperatur-Kurve für 2 cm Tiefe eine Bruchstelle zwischen 10 und 13 Uhr aufweist. Dies wurde durch die Eintrü-

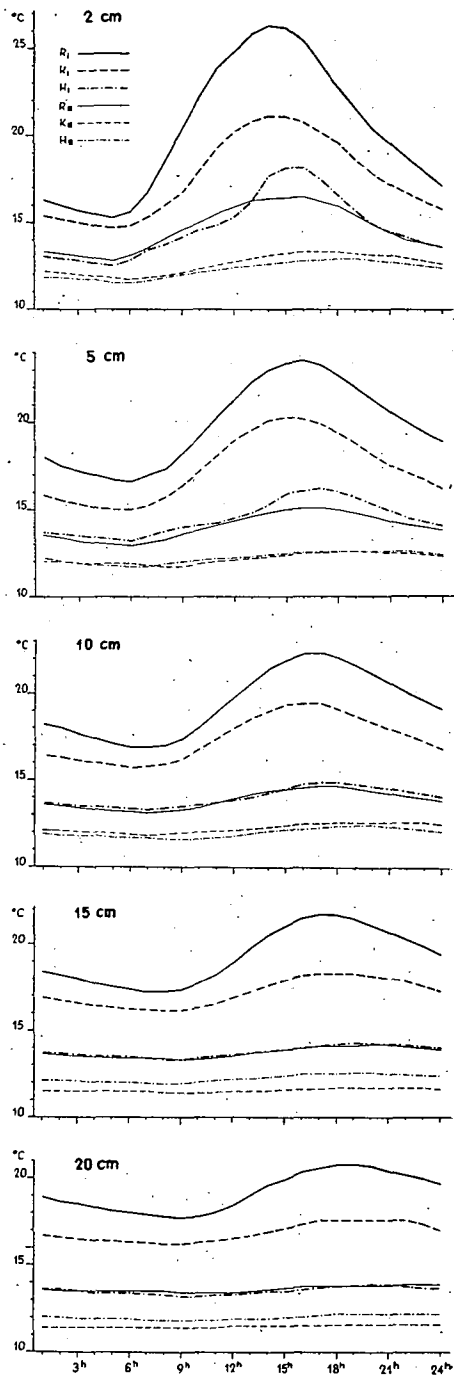
Abb. 15. Tagesgang der Bodentemperatur an heiteren Tagen.

R_I = Rejtek
 K_I = Kurtabérc
 H_I = Hármaskút } auf der Wiese
 R_{III} = Rejtek
 K_{III} = Kurtabérc
 H_{III} = Hármaskút } im Walde

bung am 6. und 7. August auf 60–70% Bewölkung verursacht und die niedrigeren Bodentemperaturen dieser beiden Tage kommen noch im Fünftage-Mittel zum Ausdruck. Infolge der Phasenverspätung bleiben die Temperaturmaxima wesentlich zurück gegenüber der Maxima des 2-cm-Niveaus.

Aus dem besonderen täglichen Temperaturgang der Bodenschicht in 2 cm Tiefe bei Hármaskút geht es hervor, dass zwischen Rejtek und Hármaskút gleichzeitig und zwar um 13^h die grösste Temperaturabweichung auftritt, mit einem Betrage von 9,6 Grade. In den übrigen Niveaus sind die (unter Phasenverspätung auftretenden) Unterschiede von 7,7, 7,6, 7,6 und 8,0 Grade nahezu gleich den zwischen den Maxima bestehenden Abweichungen.

An der Abb. 15 werden die Tagesgänge der Bodentemperatur an den drei in verschiedenen Seehöhen liegenden Stationen dargestellt an heiterem Tagen auf der Wiese und im Walde. Wie ersichtlich, sind die höher liegenden Wiesen in allen Höhen kühler als die niedriger liegenden Wiesen. Im Walde ist es aber nicht so. In allen Fällen ist der Waldboden in Rejtek am wärmsten, am Kurtabérc ist er nur in der Tiefe von 2 cm wärmer als der Boden in 2 cm Tiefe im Buchwald von Hármaskút, in 5 cm Tiefe findet man nur noch sehr geringe Unterschiede, in den niedrigeren Schichten ist sogar der Nadelholzbestand in 730 m Seehöhe kühler als der Buchenbestand in 930 m Seehöhe. Hier muss wieder



Bodentemperatur-Unterschiede an heiteren und wolkigen Tagen, °C/100 m

Tiefe cm	An heiteren Tagen						An wolkigen Tagen					
	Wiese			Wald			Wiese			Wald		
	Max.	min.	Max.—min.	Max.	min.	Max.—min.	Max.	min.	Max.—min.	Max.	min.	Max.—min.

Rejtek—Kurtabérc

2	2,88	0,33	2,55	1,77	0,61	1,16	1,61	0,38	1,22	1,44	0,55	0,88
5	1,83	0,88	0,94	1,39	0,67	0,72	1,38	0,83	0,55	1,17	0,61	0,55
10	1,61	0,66	0,94	1,22	0,83	0,38	1,16	0,55	0,61	1,16	0,83	0,33
15	1,88	0,61	1,27	1,33	1,05	0,27	1,33	0,50	0,83	1,27	0,94	0,33
20	1,77	0,83	0,94	1,27	1,11	0,16	1,38	0,66	0,72	1,22	1,11	0,11

Rejtek—Hármaskút

2	2,25	0,77	1,47	1,00	0,36	0,63	1,88	0,55	1,33	0,77	0,16	0,61
5	2,05	0,94	1,11	0,69	0,33	0,36	1,63	0,69	0,94	0,50	0,19	0,30
10	2,08	1,00	1,08	0,58	0,36	0,22	1,61	0,72	0,88	0,38	0,19	0,19
15	2,05	1,08	0,97	0,44	0,38	0,05	1,61	0,86	0,75	0,36	0,25	0,11
20	1,91	1,25	0,66	0,47	0,44	0,02	1,55	1,02	0,52	0,38	0,36	0,02

Kurtabérc—Hármaskút

2	1,61	1,22	0,38	0,22	0,11	0,11	2,16	0,72	1,44	0,11	—0,22	0,33
5	2,27	1,00	1,27	0,00	0,00	0,00	1,88	0,55	1,33	—0,17	—0,22	0,05
10	2,55	1,33	1,22	—0,05	—0,11	0,05	2,05	0,88	1,16	—0,38	—0,44	0,05
15	2,22	1,55	0,66	—0,44	—0,27	—0,16	1,88	1,22	0,66	—0,55	—0,44	—0,11
20	2,05	1,66	0,38	—0,33	—0,22	—0,11	1,72	1,38	0,33	—0,44	—0,38	—0,05

einmal (wie es schon vorher geschehen ist) auf die Unterschiede des Waldbestandes hingewiesen werden, somit müssen im Falle der Wälder die Unterschiede zwischen Rejtek und Hármaskút in Betracht gezogen werden.

In wolkigen Tagen sind die Tagesgänge der Bodentemperaturen mit kleineren Amplituden die gleichen als die Tagesgänge an heiteren Tagen, eine wesentliche Abweichung findet sich nur bei den Bodentemperaturen des Waldes, indem man in Erfahrung bringt, dass selbst schon im 5 cm Tiefe der Boden des Waldes am Kurtabérc kühler ist als der Boden des Waldes am Hármaskút.

Bekanntlich ist es bei heiterem, im allgemeinen trockenem sonnigem Wetter festzustellen, dass die Maxima der Bodentemperatur sowie die Tagesamplituden mit der Tiefe zunehmen, und die Minima innerhalb der täglichen Inversionsschicht ebenfalls zunehmen. Diese Tendenz kann — fast ohne Ausnahme — aus den Temperaturunterschieden zwischen Rejtek und Hármaskút belegt werden. Dies bedeutet, dass die Temperaturverhältnisse im wärmeren Boden von Rejtek und im kühleren Boden von Hármaskút in den Grundzügen einander gleich sind. Zwischen Rejtek und Kurtabérc, sowie zwischen Kurtabérc und Hármaskút kann nach den Angaben der Tabelle XIV. weder in den Maxima, noch in den Minima, noch in den Abweichungen der Tagesamplituden keine einheitliche Tendenz festgestellt werden, d. h. die für verschiedene Tiefen geltenden Werte sind sehr abweichend von einander. Diese Umstände können hauptsächlich durch die Lage des Kurtabérc und aus den verschiedenen Waldbeständen erklärt werden.

Somit kann es festgestellt werden, dass *die Bodentemperatur nimmt, unter einer starken Beeinflussung ausgehend aus der morphologischen Lage und dem Pflanzenbestande, in gewaltiger Weise mit wachsender Seehöhe ab, und auch die Tagesamplitude der Temperatur wird abgeschwächt.*

Zusammenfassung

Endlich soll ein kurzer Überblick auf die Abweichungen zwischen den Unterschieden in den Luft- und Bodentemperaturen geworfen werden.

Wenn die Amplituden der Bodentemperatur in 2 und 5 cm Tiefe mit der durchschnittlichen Amplitude der Temperatur der darüberliegenden Luftschicht (Tabelle VII.) bzw. mit den Tagesamplituden der Luftschicht in 10 cm Höhe (Wiese: Tabelle IV., Wald: Tabelle V.) verglichen werden, so findet man die folgenden Prozentualwerte:

	An der Wiese				Im Walde			
	T _B ² ₁₀₀	T _B ¹⁰ ₁₀₀	T _B ² ₁₀₀	T _B ⁵ ₁₀₀	T _B ² ₁₀₀	T _B ⁵ ₁₀₀	T _B ² ₁₀₀	T _B ⁵ ₁₀₀
	T	T	T _L 10	T _L 10	T	T	T _L 10	T _L 10
	2 cm	5 cm	2 cm	5 cm	2 cm	5 cm	2 cm	5 cm
Rejtek	59,5	37,2	50,7	32,3	22,0	13,1	21,5	12,8
Kurtabérc	44,8	37,1	37,4	31,0	15,1	8,5	14,8	8,3
Hármaskút	55,9	29,4	42,9	22,6	18,0	11,4	17,5	11,3

Am K u r t a b é r c ist die Tagesamplitude des Bodens in 2 cm Tiefe geringer als am in grösserer Seehöhe liegenden H á r m a s k ú t, dagegen nähert sie sich in 5 cm Tiefe an den in Prozenten der Amplitude der Lufttemperatur ausgedrückten Werte der Amplitude der Bodentemperatur in R e j t e k. Dies weist auf eine dichtere Pflanzenbedeckung und auf den Umstand hin, dass die oberste Bodenschicht an dieser Station eine andere Wärmeleitfähigkeit besitzt als an den beiden anderen Stationen. Allgemein kann es aber festgestellt werden, dass *die Amplitude der Bodentemperatur mit zunehmender Seehöhe rascher abnimmt als die Tagesamplitude der Lufttemperatur. Diese Feststellung gilt besonders auch für die Waldböden*, nur bei den abweichenden Angaben des K u r t a b é r c muss wiederholt auf die Ein- und Ausstrahlung behindernde Wirkung des älteren Nadelholzbestandes hingewiesen werden. Dadurch wird die Aufmerksamkeit gleichzeitig auf den Umstand gelenkt, dass bei einem Vergleich von Luft- und Bodentemperaturen zwischen Wäldern, welche in verschiedener Seehöhe liegen, eine grosse Sorgfalt in der Hinsicht ausgeübt werden muss, dass möglichst identische Bestände ausgewählt werden.

Eine grundlegend wesentliche Abweichung zwischen Wiesen und Wäldern in Bezug auf die Unterschiede der Luft- und Bodentemperaturen besteht darin, dass der Luftraum der Wiesen bei Tage wärmer und bei Nacht kälter ist als der Luftraum im Walde, wogegen der Boden der Wiesen bei Tag und bei Nacht wärmer ist als der Waldboden. (S. Tabellen VI. und XIII.). Die Abweichungen zwischen der Maxima der Lufttemperatur an der Wiese und im Walde nehmen zu die Abweichungen zwischen der Minima nehmen ab mit der Seehöhe, hingegen hat man in den Bodentemperaturen eine Abnahme der Abweichungen der Minima und der Amplituden. Somit muss daraus gefolgert werden, dass durch Anpflanzung von Wäldern, die aus identischen Baumarten bestehen und eine gleiche Dichte besitzen, die Bodentemperaturen in einer geringeren Seehöhe eine gewaltigere Abnahme erfahren als in höheren Lagen.

Die Lufttemperaturen der in verschiedenen Seehöhen liegenden Wiesen und auch Wäldern ist an den niedrigeren Isohypsen bei Tage höher, bei Nacht aber kühler. *So gilt es sowohl für die Wiesen als auch für die Wälder, dass die Nächte kälter und die Tage wärmer sind als in grösseren Höhenlagen* (S. Tabelle VIII.). *Hingegen ist die Bodentemperatur der Wiesen in den niedrigeren Lagen stets wärmer, sowohl zur Zeit der Maxima als auch zur Zeit der Minima.* (S. Tabelle XV.) Sogar in den Wäldern findet man die gleiche Lage, nur in der Relation von K u r t a b é r c und H á r m a s k ú t liegt eine Ausnahme vor, die eine Folge der früher schon angeführten Gründe ist. *In Waldbeständen, welche aus identischen Baumarten bestehen und die gleiche Dichte besitzen, kann die Abnahme der Bodentemperatur mit zunehmender Seehöhe unbedingt vorausgesetzt werden.*

Die Abweichungen der Bodentemperatur sind grösser als die Abweichungen der Lufttemperatur. Die auf Höhenunterschiede von 100 m bezogenen Werte sind in Tabellen VIII. und XV. auffindbar und aus den Tabellen geht es auch hervor, dass diese Werte auch zur Zeit der Temperaturminima ein positives Vorzeichen besitzen. Die Abweichungen der Tagesamplituden der Temperatur sind auf der Wiese geringer als im Walde.

Endlich soll die Aufmerksamkeit noch darauf gelenkt werden, dass innerhalb des untersuchten Gebietes nach den klimatologischen Beobachtungen im Laufe des Tages, namentlich am frühen Morgen und am späten Nachmittag

in verschiedenem Höhenlagen die gleichen Temperaturen beobachtet werden, in den verschiedenen mikroklimatischen Räumen zu gewissen Zeitpunkten die gleiche Lufttemperatur bestehen kann, hingegen gibt es einen stabilen Unterschied zwischen den in verschiedenen Höhenlagen bestehenden Bodentemperaturen, und dieser kann nur im Laufe des Jahresganges (im Herbst und Frühjahr) verwischt werden.

Wir sind der Meinung, dass diese, auf einer Beobachtungsreihe von 21 Tagen sich stützende Feststellungen eine allgemeine Gültigkeit für die Sommerzeit des Mittelgebirges besitzen, und eine Unterlage für die Erkenntnis der Tagesgänge der Luft- und Bodentemperaturen an Bergwiesen und Wäldern darstellen dürften.

LITERATUR

- AULITZKY, H. (1961): Die Bodentemperaturverhältnisse an einer zentralalpinen Hanglage beiderseits der Waldgrenze. I. Teil: Bodentemperaturen oberhalb der zentralalpinen Waldgrenze. Arch. Met. Geophys. Biokl. B. 10 (445—532. S)
- AULITZKY, H. (1962. a.): Die Bodentemperaturverhältnisse an einer zentralalpinen Hanglage beiderseits der Waldgrenze. II. Teil. Über die Bodentemperaturen im subalpinen Lärchen-Zirbenwald. Arch. Met. Geophys. Biokl. B. 11. (301—362. S.)
- AULITZKY, H. (1962. b.): Die Bodentemperaturverhältnisse an einer zentralalpinen Hanglage beiderseits der Waldgrenze III. Teil. Die Bodentemperatur in ihren Beziehungen zu andern Klimafaktoren. Arch. Met. Geophys. Biokl. B. 11. (363—376. S).
- AULITZKY, H. (1968.): Die Lufttemperaturverhältnisse einer zentralalpinen Hanglage Arch. Met. Geophys. Biokl. B. 16. (18—69. S).
- BAUMGARTNER, A. — HOFMANN, G. (1957): Elektrische Fernmessung der Luft- und Bodentemperatur in einem Bergwald. Arch. Met. Geophys. Biokl. B. 8. (215—230. S).
- BAUMGARTNER, A. (1964.): Klimatologische Abgrenzung forstlicher Standorte im Mittelberge. Mitteilungen aus der Staatsforstverwaltung Bayerns. 34. Heft. (142—153. S.)
- GEIGER, R. (1927—1929): Messung des Expositionsclimas. Forstw. Cb. 49., 50., 51.
- GEIGER, R. (1953): Probleme der Mikrometeorologie des Hochgebirges. Wetter und Leben 5.
- GEIGER, R. (1958): The modification of microclimate by vegetation in open and in hilly country. Proc. Canberra Symposium 1956. UNESCO. Paris.
- GEIGER, R. (1961): Das Klima der bodennahen Luftschicht. Braunschweig.
- GEIGER, R., M WOELFLE und L. P. SEIF (1933—1934): Höhenlage und Spätfrostgefährdung. Forstw. Cb. 55. und 56.
- HARTMANN, F. K., J. van EIMERN, G. JAHN (1959): Untersuchungen reliefbedingter kleinklimatischer Fragen in Geländequerschnitten der hochmontanen Stufe des Mittel- und Südwestharzes Ber. DWB. 7.
- JUSTYÁK, J. (1964): Mikroklimatische Geländestudien am Südhang des Tokajer Weinberges. Acta Geographica, Geologica et Meteorologica. Debrecen Tom. X/III.
- KOCH, H. G. (1961): Die warme Hangzone. Neue Anschauungen zur nächtlichen Kaltluftschichtung in Tälern und an Hängen. Zeitschrift für Met. Band 15. (151—171. S)
- LÜTZKE, R. (1961): Das Temperaturklima von Waldbeständen und — lüchtungen im Vergleich zur offenen Feldflur. Arch. für Forstwesen 10.
- OBREBSKA, S. B. (1969): Some results of investigations of meso — and microclimatic

- conditions in small mountain drainage areas in the Beskides (Polish West Carpathians). *Acta Climatologica*. VIII. Szeged.
- SCHUBERT, J. (1930): Das Verhalten des Bodens gegen Wärme. *Handbuch der Bodenlehre* VI. Berlin.
- TURNER, H. (1958): Maximaltemperaturen oberflächennaher Bodenschichten an der alpinen Waldgrenze. *Wetter und Leben* 10. (10—12. S)
- TURNER, H. (1958): Über das Licht- und Strahlungsklima einer Hanglage der Öztaler Alpen bei Obergurgl und seine Auswirkung auf das Mikroklima und auf die Vegetation. *Arch. Met. Geophys. Biokl. B.* 8. (273—325. S.)
- WAGNER, R. und TAKÁCS, L. (1967): Vertikale Temperaturschichtung im Boden und ein mathematisches Modell derselben. *Acta Climatologica*. VII. Szeged.